

## VTT Technical Research Centre of Finland

### Tietämysperusteinen elinjakson hallinta

Kortelainen, Helena; Komonen, Kari; Laitinen, Jouko; Valkokari, Pasi; Hanski, Jyri

Published: 01/03/2021

*Document Version*  
Publisher's final version

[Link to publication](#)

*Please cite the original version:*

Kortelainen, H., Komonen, K., Laitinen, J., Valkokari, P., & Hanski, J. (2021). *Tietämysperusteinen elinjakson hallinta*. (1. ed.) Kunnossapitoyhdistys Promaint ry.  
<https://link.webropol-surveys.com/Participation/Public/1ee22acb-8384-415a-9050-2daff5e1f262?displayId=Fin2221824>



VTT  
<http://www.vtt.fi>  
P.O. box 1000FI-02044 VTT  
Finland

By using VTT's Research Information Portal you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



The background of the entire page is a long-exposure photograph of a starry night sky. The stars have created numerous concentric, circular light trails that fill the upper two-thirds of the image. The trails are most prominent in the center and become more sparse towards the edges. The color of the sky transitions from a deep blue at the top to a lighter blue and then to a warm orange and yellow glow at the horizon. At the very bottom, there is a dark silhouette of a mountain range or hills.

# **TIETÄMYS- PERUSTEINEN ELINJAKSON HALLINTA**

Kuva: Pixabay

*Helena Kortelainen, Kari Komonen, Jouko Laitinen, Pasi Valkokari ja Jyri Hanski*



I. painos, maaliskuu 2021

**Julkaisija ja kustantaja**

Kunnossapitoyhdistys Promaint ry | Messuaukio 1 | 00520 Helsinki  
[www.promaint.net](http://www.promaint.net)

© Kunnossapitoyhdistys Promaint ry  
Helena Kortelainen (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy)  
Kari Komonen  
Jouko Laitinen (Tampereen yliopisto)  
Pasi Valkokari (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy)  
Jyri Hanski (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy)

ISBN 978-952-68687-6-9 (PDF)

# SISÄLLYS

<b>JOHDANTO.....</b>	<b>8</b>
<i>Helena Kortelainen, Kari Komonen, Jouko Laitinen, Pasi Valkokari ja Jyri Hanski</i>	8
Miksi elinkaaren ja elinjakson hallinta on tärkeää?.....	8
Tausta .....	9
Kirjan rakenne.....	11
Kirjan merkitys ja hyödyntäminen .....	12
Kiitokset.....	13
<b>EXECUTIVE SUMMARY .....</b>	<b>14</b>
<i>Helena Kortelainen</i>	14
<b>OSA I ELINJAKSON HALLINTA - KONSEPTISTA KÄYTTÖÖN.....</b>	<b>16</b>
<b>I.1 ELINJAKSON HALLINTA .....</b>	<b>17</b>
<i>Helena Kortelainen</i>	17
Johdanto .....	17
Elinjakso, elinkaari ja elinikä .....	18
Käyttövarmuuden merkitys .....	19
RAMS .....	20
Elinjaksokustannusten muodostuminen .....	21
Mitä on elinjakson hallinta? .....	22
Keskeiset opit.....	22
<b>I.2 ELINJAKSOMALLIT.....</b>	<b>23</b>
<i>Helena Kortelainen</i>	23
Johdanto .....	23
Geneerinen elinjaksomalli .....	23
Elinjakso - tuotteen ja valmistajan näkökulma .....	25
Elinjakso - tuotantojärjestelmän ja käyttäjän näkökulma.....	27
Sidosryhmien yhteistyö ja vuorovaikutus elinjakson hallinnan vaiheissa .....	30
Elinjakso- tai elinkaarimallin valinta.....	31
Keskeiset opit.....	32
<b>I.3 TURVALLISUUDEN HALLINTA ELINJAKSON ERI VAIHEISSA .....</b>	<b>33</b>
<i>Eetu Heikkilä ja Risto Tiisanen</i>	33
Johdanto .....	33
Uusien koneiden turvallisuus on valmistajan vastuulla .....	33
Turvallisuuden suunnittelu.....	34
Turvallisuussuunnittelun menetelmät elinkaaren eri vaiheisiin .....	34
Turvallisuuden ylläpito käytön aikana .....	36
Keskeiset opit.....	37
<b>I.4 ELINJAKSON HALLINTA JA KIERTOTALOUS.....</b>	<b>38</b>
<i>Helena Kortelainen, Jyri Hanski ja Pasi Valkokari</i>	38
Johdanto .....	38
Kiertotalouden tekniset kierrot .....	38



Tuotteiden ekologinen suunnittelu .....	39
Keskeiset opit.....	40
<b>1.5 ELINJAKSON HALLINNAN SUORITUSKYKY JA -MITTARIT .....</b>	<b>41</b>
<i>Helena Kortelainen, Toni Ahonen, Minna Räikkönen Saja Vatanen ja Lotta Hepo-oja</i> .....	41
Johdanto .....	41
Tuotannon kokonaistehokkuus (KNL, OEE).....	41
Elinjaksokustannukset ja niiden arviointi (Life Cycle Costing, LCC) .....	42
Elinkaarianalyysit (LCA) .....	46
Keskeiset opit.....	49
<b>1.6 RISKIEN HALLINTA .....</b>	<b>50</b>
<i>Teuvo Uusitalo</i> .....	50
Johdanto .....	50
Riskienhallintastandardi SFS-ISO 31000 .....	51
Keskeiset opit.....	53
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>54</b>
 <b>OSA 2 TUOTANTO-OMAISUUDEN HALLINTA.....</b>	 <b>58</b>
<b>2.1 MITÄ ON TUOTANTO-OMAISUUDEN HALLINTA.....</b>	<b>59</b>
<i>Kari Komonen</i> .....	59
Johdanto .....	59
Miksi tuotanto-omaisuuden hallinta on juuri nyt tärkeää.....	60
Tyypillisiä tuotanto-omaisuuden hallintaan liittyviä asiakokonaisuuksia .....	62
Tuotanto-omaisuuden hallinnan vastuut organisaatioissa .....	64
Milloin omaisuuden ja elinjakson hallinta on erityisen tärkeää .....	65
Tuotanto-omaisuuden hallinnan yleisiä tavoitteita.....	67
Keskeiset opit.....	68
<b>2.2 STRATEGISEN OMAISUUDEN HALLINNAN MENETELMÄT .....</b>	<b>69</b>
<i>Kari Komonen</i> .....	69
Joustavuus ja epävarmuus.....	69
Epävarmuuteen vaikuttavista tekijöistä .....	70
Joustavuuteen vaikuttavia tekijöitä .....	71
Epävarmuus, aikajänne ja riskinsietokyky .....	74
Johdanto vaatimusten määrittelyyn .....	76
Vaatimusten määrittely .....	77
Käyttövaiheen aktiviteetteja.....	82
Elinjaksoseuranta .....	85
Keskeiset opit.....	86
<b>2.3 INVESTOINTILASKELMAT: MENETELMISTÄ JA NIIDEN KÄYTÖSTÄ.....</b>	<b>87</b>
<i>Kari Komonen</i> .....	87
<b>Keskeiset opit.....</b>	<b>95</b>
<b>2.4 KUNNOSSAPITO OMAISUUDEN HALLINNAN OSANA .....</b>	<b>96</b>
<i>Kari Komonen</i> .....	96
Kunnossapito hankintavaiheessa .....	96
Kunnossapito elinjaksoprosessin osana.....	97
Kunnossapidon strategiset lähtökohdat.....	100
Kunnossapidon strategian sisältö.....	102
Kunnossapidon strategian esittäminen ja yhteenveto.....	109
Keskeiset opit.....	111
<b>2.5 KRIITTISYYSTARKASTELUT OSANA KUNNOSSAPIDON SUUNNITTELUA.....</b>	<b>112</b>
<i>Pasi Valkokari</i> .....	112
Johdanto .....	112
Kriittisyystarkastelun vaiheet .....	114

Keskeiset opit.....	117
2.6 NÄKÖKULMIA STRATEGISEEN OMAISUUDEN HALLINTAAN .....	118
<i>Jyri Hanski</i> .....	118
Johdanto .....	118
Organisaation sisäinen näkökulma .....	119
Organisaation ulkoiset näkökulmat .....	121
Keskeiset opit.....	122
LÄHTEET .....	123
<b>OSA 3 TIEDON KERÄÄMINEN, ANALYSOINTI JA HYÖDYNTÄMINEN .....</b>	<b>125</b>
3.1 ELINJAKSON HALLINTAAN LIITTYVÄN TIEDON LÄHTEILLÄ .....	126
<i>Helena Kortelainen ja Toni Ahonen</i> .....	126
Johdanto .....	126
Data, tieto, informaatio, tietämys ja viisaus .....	126
Hiljainen tieto ja tietämys.....	127
Elinjaksotiedon lähteitä .....	129
Tuotetieto .....	131
Tuotetiedon hallinta elinkaaren aikana.....	131
Tuotetiedon siirtäminen eri toimijoiden välillä .....	132
Käyttövaiheen aikana syntyvän tiedon kerääminen.....	133
Tuotanto-omaisuuden hallinnan tietojärjestelmät.....	133
Tuotanto-omaisuuden hallinnan tietojärjestelmät - tapahtumatietojen luokittelu .....	135
Asiantuntijoiden tietämyksen hyödyntäminen.....	137
Keskeiset opit.....	138
3.2 KUNNONVALVONTA.....	139
<i>Jouko Laitinen</i> .....	139
Johdanto .....	139
Kunnonvalvontamenetelmän valinta.....	139
Keskeiset opit.....	140
3.3 TIEDON JALOSTAMINEN JA RIKASTAMINEN .....	141
<i>Helena Kortelainen ja Toni Ahonen</i> .....	141
Johdanto .....	141
Tiedon jalostamisen prosessi .....	141
Datan kerääminen .....	142
Datan esikäsittely.....	142
Kuvaileva data-analyysi ja aineiston mallintaminen.....	143
Kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tiedon yhdistäminen.....	143
Keskeiset opit.....	144
3.4 TIETOJÄRJESTELMIIN TALLENNETUN TIEDON HYÖDYNTÄMINEN.....	145
<i>Helena Kortelainen ja Toni Ahonen</i> .....	145
Johdanto .....	145
Elinkaaren hallinnan sidosryhmät ja tietoon perustuva toiminta.....	146
Raportointi .....	147
Tunnusluvut ja suorituskyyvyn mittaaminen .....	148
Pareto-analyysi.....	149
Tiedon hyödyntäminen kentällä.....	150
Vikakertymäkuvaajat .....	151
Ennakointi ja mallintaminen .....	153
Kunnossapito-ohjelman kehittäminen tietoja yhdistämällä ja tietoa rikastaen.....	154
Vikadata laitevalmistajan tuotekehityksen tukena .....	154
Dataan perustuvat elinkaaren hallinnan palvelut.....	155
Keskeiset opit.....	157



3.5 STOKASTISET JA SIMULOINTIMALLIT LUOTETTAVUUSTIEDON HALLINNASSA.....	158
<i>Jouko Laitinen</i> .....	158
Johdanto.....	158
Kahdenlaista dataa.....	158
Vikaantumistiedon tallentaminen.....	159
Tietokannat.....	159
Tietokantarakenteita.....	160
SQL-kieli.....	161
Tietokannan hallintajärjestelmä.....	161
Tietokanta-arkkitehtuuri.....	162
Tilastomatematiikan perusteita.....	163
Satunnaissuureiden jakaumafunktiot.....	163
Jatkuva jakauma.....	164
Datasta jakaumaksi.....	166
Simulointimallit.....	167
Stokastisen simuloinnin periaate.....	168
Simulointiesimerkki: simuloinnin käyttö huoltojakson määrittämisessä.....	169
Yhdistetty Korjaus-vika- ja vika-korjausprosessi.....	170
Keskeiset opit.....	171
3.6 TULEVAISUUDEN KEHITYSNÄKYMÄ.....	172
<i>Helena Kortelainen ja Toni Ahonen</i> .....	172
Johdanto.....	172
Koneoppiminen.....	172
Digitaalinen kaksonen.....	174
Tiedon jakaminen verkostossa toimijoiden välillä.....	175
Keskeiset opit.....	176
LÄHTEET.....	177
<b>OSA 4 MENETELMIÄ, TYÖKALUJA, JA TEKNOLOGIOITA SEKÄ SOVELLUSESIMERKKEJÄ.....</b>	<b>181</b>
4.1 ENNAKOINTIMENETELMÄT TEKNOLOGIAVALINTOJEN TUKENA.....	182
<i>Jyri Hanski ja Anu Nousiainen</i> .....	182
Johdanto.....	182
Roadmap-menetelmä.....	183
Case: Kokemuspolku kunnossapidon kehityssuuntien ennakkoinnissa.....	185
Keskeiset opit.....	186
4.2 KÄYTTÖVARMUUDEN ANALYSOINTI TUOTEKEHITYSPROSESSIN KONSEPTIVAIHEESSA.....	187
<i>Tero Välsälä</i> .....	187
Käyttövarmuuden hallinta tuotekehitysprojehtissa.....	188
Toiminnallinen kuvaus: SADT ja IDEF.....	188
Case: käyttövarmuuden hallinnan menetelmä tuotekehitysprojehtissa.....	189
Keskeiset opit.....	190
4.3 KUNNOSSAPIDETTÄVYYDEN SUUNNITTELU.....	191
<i>Tero Välsälä</i> .....	191
Johdanto.....	191
Kunnossapidettävyyden analyysin vaiheet.....	192
Kunnossapitotöiden osatekijöiden arviointi.....	193
Case: Kunnossapidettävyyden suunnittelun menetelmä.....	194
Keskeiset opit.....	195
4.4 RAMS TOIMITUSPROJEKTISSA.....	196
<i>Helena Kortelainen, Tero Välsälä ja Toni Ahonen</i> .....	196
Johdanto.....	196

RAMS tavoitteiden asettaminen .....	196
Case: RAMS prosessin laatiminen .....	197
Keskeiset opit.....	198
<b>4.5 UUSIEN TEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN ELINJAKSON HALLINNAN TUkena</b>	<b>199</b>
<i>Jyri Hanski, Helena Kortelainen ja Tero Välisalo</i> .....	<i>199</i>
Johdanto .....	199
Etätukiratkaisut elinjakson hallinnan tukena .....	200
Case: Etätukiratkaisut sähkökatkon vianetsinnässä .....	200
Keskeiset opit.....	202
<b>4.6 KUSTANNUSTEN JA HYÖTYJEN ARVIOINTI OSANA UUDEN TEKNOLOGIAN KÄYTTÖÖNOTTOA</b>	<b>203</b>
<i>Helena Kortelainen ja Antti Rantala</i> .....	<i>203</i>
Johdanto .....	203
Kustannus- ja hyötytarkastelut sekä kustannus-vaikuttavuusanalyysit.....	203
Case: Laadullisten ominaisuuksien tarkastelu osana teknologiavalintoja .....	203
Keskeiset opit.....	205
<b>4.7 INVESTOINTIKOhteiden Valinta</b>	<b>206</b>
<i>Minna Räikkönen, Tero Välisalo ja Helena Kortelainen</i> .....	<i>206</i>
Johdanto .....	206
Case Jyväskylän Energia .....	206
Keskeiset opit.....	209
<b>4.8 KORVAUSINVESTOINNIN SUUNNITTELUPROSESSI</b>	<b>210</b>
<i>Pasi Valkokari</i> .....	<i>210</i>
Johdanto .....	210
Käytännön esimerkitapauksia.....	210
<i>Esimerkki 1</i> .....	<i>210</i>
<i>Esimerkki 2</i> .....	<i>211</i>
<i>Esimerkki 3</i> .....	<i>211</i>
Keskeiset opit.....	212
<b>4.9 KIERTOTALouden Liiketoimintamallit</b>	<b>213</b>
<i>Jyri Hanski</i> .....	<i>213</i>
Keskeiset opit.....	214
<b>4.10 ELINJAKSOKUSTANNUSTEN MALLINTAMINEN: CASE HÄIRIÖTÖN SÄHKÖNSYÖTTÖ</b>	<b>215</b>
<i>Helena Kortelainen ja Minna Räikkönen</i> .....	<i>215</i>
Johdanto .....	215
LCC mallin toteutus .....	215
Keskeiset opit.....	219
<b>4.11 ROBUSTISUUS STRATEGISESSA OMAISUUDEN HALLINNASSA</b>	<b>220</b>
<i>Jyri Hanski</i> .....	<i>220</i>
Case: Energiasektorin ilmastonmuutosstrategiat .....	221
Keskeiset opit.....	222
<b>LÄHTEET</b>	<b>223</b>
<b>OSA 5 TERMIT, KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT</b>	<b>226</b>
OSA 5 TERMIT, KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT .....	227
LÄHTEET .....	237
<b>KIRJOITTAJAT</b>	<b>238</b>
<b>TIETÄMYSPerusteinen Elinjakson Hallinta</b>	<b>241</b>



# JOHDANTO

*Helena Kortelainen, Kari Komonen, Jouko Laitinen, Pasi Valkokari ja Jyri Hanski*

## Miksi elinkaaren ja elinjakson hallinta on tärkeää?

Tuotteen elinkaaren hallinta on yksi valmistavan teollisuuden keskeisistä haasteista: tuotteiden tehokkuutta ja suorituskykyä on pyrittävä kehittämään ja ylläpitämään tuotteen koko käyttövaiheen ajan. Yritykset ovatkin tunnistanee tässä uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja panostaneet elinkaaripalveluiden kehittämiseen. Tuotteen elinkaaren hallinta ottaa huomioon tuotteen elinkaaren kokonaisuutena tuotteen ideoinnista käyttövaiheeseen ja edelleen tuotteen käytöstä luopumiseen ja mahdolliseen uusiokäyttöön. Elinjakson hallinta on mitä suurimmassa määrin myös loppukäyttäjän toimintaa ja keskeinen osa tuotanto-omaisuuden hallintaa. Elinjakson ja tuotanto-omaisuuden hallinnan hyvät käytännöt tukevat päätöksentekijää, joka punnitsee esimerkiksi uuden teknologian käyttöönottoon liittyviä hyötyjä ja järjestelmän suorituskyvyn parantumisesta, ja toisaalta hankinnasta ja käytöstä aiheutuvia kustannuksia ja riskejä. Tässä kirjassa tarkastellaan elinjakson ja elinkaaren hallinnan malleja ja hallinnan menetelmiä eri toimijoiden näkökulmasta tiedon hallintaa ja hyödyntämistä painottaen.

## *Elinjakso, elinkaari vai molemmat?*

Termejä elinjakso ja elinkaari käytetään usein toistensa synonyymeinä. Tässä kirjassa ”elinkaari” viittaa tuotteen tai tuotesukupolven kaupalliseen elinikään, ja elinkaari loppuu, kun tuote poistuu markkinoilta eikä sitä enää valmistajan toimesta tueta. Elinjakso viittaa tunnistettaviin elinjakson vaiheisiin, joita yleisellä tasolla ovat konseptointi, kehittäminen, toteutus, käyttö, parantaminen ja käytöstä poisto/uusiokäyttö. Vaikka tuotteen tai kokonaisen tuotesukupolven elinkaari päättyy ja tuote poistuu markkinoilta, voi yksittäisen kohteen käyttö ja elinikä jatkua.

## *Muutostrendit*

Elinkaaren ja -jakson merkitystä korostavat useat tuntemamme muutostrendit kuten luonnonvarojen kestävä käyttö, liiketoimintamallien muuttuminen, digitalisaatio ja globalisaation eteneminen. Merkittävä tekijä on myös liiketoimintaympäristön epävarmuuden lisääntyminen ja esimerkiksi turvallisuus- ja ympäristövaikutuksiin liittyvä vaatimustason nousu. Investointien yhteydessä yritykset sitovat merkittävästi pääomaa hankkimalla tuotteita ja järjestelmiä, joiden kustannukset ja tuotot realisoituvat tulevaisuudessa. Päätöksenteko nopeasti muuttuvassa liiketoimintaympäristössä muuttuvien ja alati kiristyvien vaatimusten paineessa korostaa kykyä ennakoida ja varautua muutoksiin. Hankintavaiheessa käyttäjän on varauduttava tuotteen ylläpidon kustannuksiin, jotka vuosien ja ehkä vuosikymmenten kuluessa voivat ylittää alkuperäisen hankintahinnan moninkertaisesti. Elinjakson hallinta auttaa asettamaan askelmerkit siihen, mitä kustannuksia, vaatimuksia ja tuotteita tai hyötyjä tulevaisuudessa on odotettavissa.

Luonnonvarojen kestävä käyttö ja uhkaava pula monista tärkeistä raaka-aineista nostaa elinkaaren hallinnan merkitystä. Koneiden ja laitteiden käyttöiän pidentäminen parantaa resurssitehokkuutta, mutta vaatii samalla panostuksia elinjakson hallinnan keinoihin, kuten kunnossapitoon, kehitysinvestointeihin ja järjestelmien teknisestä suorituskyvystä huolehtimiseen. Materiaalien uudelleen-

käyttöä ja kierrätystä korostava kiertotalous nojaa kestäväen kehityksen periaatteisiin ja pyrkii ratkaisemaan lineaarisen ”valmista-käytä-hylkää” talouden haasteita. Elinjaksotiedon hallinta on myös mahdollistaja sille, että koneiden ja laitteiden käyttö voi jatkua uudessa sovelluksessa.

Liiketoimintamallit ovat myös voimakkaassa murroksessa. Suunnittelua tehdään usein yhteistyössä useiden toimijoiden kanssa, tuotteiden toimitusketjut ovat pitkiä ja globaaleja ja usein tuotantojärjestelmien ylläpitoon osallistuu lukuisia palveluntarjoajia ja muita yhteistyökumppaneita. Eri sidosryhmien huomiointi - sekä suunnittelussa että käytössä - on haastavaa, koska mukana on lukuisia osapuolia omine vaatimuksineen ja odotuksineen. Tuotekehitystä ja suunnittelua voidaan tehdä yhtä aikaa useissa maissa, jopa maanosissa, ja tuotantojärjestelmän käytön eri vaiheisiin ja toimiin voi osallistua kymmeniä eri yrityksiä. Järjestelmien automatisoituminen ja kokonaan autonomisten järjestelmien käyttöönotto aiheuttaa merkittäviä muutoksia käyttövaiheessa, mutta myös suunnittelussa. Järjestelmän toimintavarmuus korostuu, kun käyttö- ja kunnossapitohenkilöstö siirtyy seuraamaan koneiden ja laitteiden toimintaa ehkä hyvinkin kaukana sijaitsevista valvomoista käsin.

Elinjakson hallinta menettelytapoineen, malleineen ja menetelmineen auttaa päätöksentekijää optimoimaan suorituskykyvaatimukset ja suorituskyvyn ylläpitämiseen väistämättä liittyvät kustannukset sekä arvioimaan tulevaisuuden epävarmuuteen liittyvää riskiä. Järjestelmän elinjakson suunnittelu, erilaisten skenaarioiden tarkastelu ja robustien ratkaisujen etsiminen ovat erityisen tärkeitä, kun investoidaan uuteen teknologiaan, esimerkiksi tuotantoteknologiaan, jonka käyttökokemukset ovat vähäisiä ja teknologian kypsyys arveluttaa. Systemaattinen järjestelmän elinjakson hallinnan suunnitelma auttaa pienentämään riskiä ja tukee päätöksentekoa.

### *Tiedon ja tietämyksen kasvava merkitys*

Elinkaaren hallinnan keskeinen mahdollistaja on tieto eri muodoissaan. Elinjakson hallinta on erittäin pitkäjänteistä toimintaa: lentokoneen tai teollisen järjestelmän käyttöikä voi olla kymmeniä vuosia ja infrastruktuurirakenteet voidaan suunnitella jopa sadan vuoden käyttöikää ajatellen. Elinjakson hallinnassa tarvitaan siis hyvin monimuotoista tietoa sekä systemaattista ja pitkäjänteistä tiedonhallintaa. Kattavaa, laadukasta ja luotettavaa tietoa tarvitaan niin suunnittelussa kuin käyttövaiheen operatiivisessa toiminnassa ja strategisen tason liiketoiminnan kehittämisen tukena. Teollisen internetin kautta komponentit, tuotteet, prosessit ja kokonaiset tuotantojärjestelmät kytkeytyvät toisiinsa niin, että niihin liittyvää informaatiota voidaan seurata ja kohteita voidaan jopa ohjata reaaliaikaisesti. Teollinen internet on osa laajempaa ilmiötä eli digitalisaatiokehitystä, joka tarkoittaa digitaalisen tietotekniikan yleistymistä arkielämän toiminnoissa. Digitalisaation myötä painopiste siirtyy datan keräämisestä tiedon hyödyntämiseen. Tieto ei yksin riitä, vaan keskiöön nousee tietämys - kyky jäsentää ja tulkita tietoa.

## **Tausta**

**Tietämysperusteinen elinjakson hallinta** -kirja perustuu kirjoittajien pitkään kokemukseen elinjakson, tuotanto-omaisuuden ja luotettavuuden tutkimuksen ja kehityksen tehtävissä. Tästä syystä olemme koonneet kirjaan teorian lisäksi lukuisia esimerkkejä käytännön sovelluksista eri toimialoilta. Viime vuosien aikana markkinoille on tullut myös useita tuotantojärjestelmien, koneiden ja laitteiden elinkaaren ja kunnossapidon tehokkaaseen ja taloudelliseen hallintaan keskittyneitä standardeja. Seuraavissa kappaleissa on lyhyesti esitelty tuoreimpia kirjan taustalla olevia tutkimus- ja standardisointihankkeita.

### *SmartOtaniemi*

Smart Otaniemi (<https://smartotaniemi.fi/>) on energiajärjestelmien muutoksen ohjaama ekosysteemi, joka yhdistää alan asiantuntijat, organisaatiot, teknologiat ja pilottihankkeet. SmartOtaniemi etsii uusia mahdollisuuksia energiasektorin uudistamiseen yhteistyössä muiden elinkeinoelämän toimialojen kanssa. Ekosysteemi-hankkeet kehittävät uusien energian tuotantomuotojen ja varastoinnin teknologioita kohti älykkämpiä, tehokkaampia, kestävämpiä ja taloudellisesti kannattavampia ratkaisuja. SmartOtaniemi-hankkeissa tutkitaan myös älykkäiden sähköverkkojen haasteita elinjakson hallinnan näkökulmasta sekä uusien teknologioiden mahdollisuuksia ja hyötyjä sähköverkkojen kunnossapidon tukena.



## ***Digitaalisuudesta kestäväää arvoa metsäteollisuuteen - SEED***

Business Finlandin tukeman SEED - hankkeen ([www.seedecosystem.fi](http://www.seedecosystem.fi)) tavoitteena on kehittää menetelmiä ja työkaluja liiketoimintalähtöiseen omaisuuden hallintaan ja tuottavuuden lisäämiseen hyödyntämällä IT-toimijoiden tarjoamia digitaalisia ratkaisuja. SEED ekosysteemin kehittämisen ytimessä ovat toiminnallinen tehokkuus, digitaaliset kaksoiset ja tuottavuus, tulevaisuuden työ ja hiljainen tieto sekä alustatalouden ekosysteemien hyödyntäminen. SEED-ekosysteemissä metsäyhtiöt avaavat ovensa sovelluskehittäjille ja tutkimukselle. Osallistujien tavoitteena on selvittää yhdessä, millaisiin työtehtäviin tai prosesseihin digitalisaatio tarjoaa parhaat ratkaisut.

## ***Logististen järjestelmien tehokkuuden ja uusien liiketoimintamallien kehittäminen satamaympäristössä - Autoport***

Autoport - hanke ([www.autoport.fi](http://www.autoport.fi)) kehittää muun muassa ratkaisuja tietokantapohjaiseen RAMS-vaatimusten hallintaan. Lisäksi hankkeessa pyritään luomaan uusia lähestymistapoja suunnittelu- vaiheen riskienhallinnan haasteisiin ja erityisesti systeemisten riskien hallintaan. Järjestelmien automatisoituessa ja autonomisten järjestelmien käyttöönoton myötä myös riskien ja turvallisuuden hallintaan tarvitaan uusia keinoja.

## ***Käyttövarmuuden hallinta suunnittelussa – RelSteps***

RelSteps-hankkeen tavoitteena oli kehittää koneenrakennuksen ja erityisesti liikkuvien työkoneiden suunnitteluun käyttövarmuuden hallinnan työkalupakki, joka huomioi erilaisten tuotteiden ja tuoteprojektien käyttövarmuuden hallinnan tarpeet ja on integroitavissa osaksi yrityksen toimintajärjestelmää (<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2012/T69.pdf>).

## ***Datasta viisauteen - Menetelmiä kiertotalouden mahdollistamiseen - D2W***

D2W-hankkeen ytimessä olivat kiertotalouden mahdollistamat tietovirrat. Hankkeen tavoitteena oli kiertotalouden toteutumisen kannalta tarpeellisen datan systemaattinen luonti, tunnistaminen ja hyödyntäminen täysin uudella tavalla. Datan hyödyntämisen osalta tavoitteena oli muokata sitä viisaudeksi, kyvyksi toimia uusien kiertotalouden mukaisten liiketoimintamallien käyttöönottamiseksi.

(<https://projectsites.vtt.fi/sites/datatowisdom/files/FINAL%20Advancing%20circular%20business.pdf>).

## ***Lentokaluston rakenteiden hallinta 1-2 -tutkimushankkeet (Puolustusvoimat)***

Lentokaluston rakenteiden hallinta-tutkimushankkeissa tutkittiin lentokonelaitteiden luotettavuutta niin tilastollisilla- kuin neuroverkkomenetelmillä. Hankkeissa kehitettiin lentokaluston huol- lonkehitystyön tueksi Foxtrot-analysointi-tietokoneohjelma, jolla laitteiden luotettavuutta on nopea tutkia, sekä Aida-ohjelma, joka on oppiviin koneisiin perustuva EWS (Early Warning System) laitteiden tulevasta vikaantumisesta varoittava tietokoneohjelma.

## ***Service Solutions for Fleet Management -S4Fleet***

DIMECCin “Palveluratkaisut laitekannan hallintaan” -tutkimusohjelman (Service Solutions for Fleet Management, S4Fleet) tuki teollisten yritysten digitaalista muutosta kohti edistyneitä laitekan- tatasen palvelujärjestelmiä. S4Fleet-ohjelman tutkimushankkeessa tutkittiin ja kehitettiin menetelmiä tukemaan F/A-18 Hornet hävittäjälentokoneen huoltopäätöksiä. Tiedon lähteenä käytettiin lentokoneista saatavaa prosessidataa. Päätargetoituus oli havaita potentiaaliset vikaantumiset ennen kuin niistä kehittyi lentokoneen käytön estävä vikaantuminen.

(<https://www.dimecc.com/final-report-s4fleet-service-solutions-for-fleet-management/>)

## ***Standardisointi***

Tuotanto-omaisuuden hallinta on 2010 luvulla ollut tärkeä painopistealue standardisointikentässä. Johtamisjärjestelmästandardit ovat saaneet uuden omaisuuden hallinnan tuoteperheen, joka sisältää ISO 55000 (2014), 55001 (2014) ja 55002 (2018) standardit. Tästä hankkeesta on vastannut ISO/ TC251 projektiryhmä. Tuotanto-omaisuuden kunnossapito on tärkeä osa omaisuuden hallintaa. Tällä saralla CEN/TC 319 (Suomen edustajana toimii METSTA) on laatinut lukuisia standardeja, jotka luovat vahvan perustan kunnossapidon laadukkaalle johtamiselle. PSK, joka on suomalaisen

teollisuuden perustama standardisointiorganisaatio, on täydentänyt kunnossapidon standardeja tuottamalla myös dokumentteja, joita CENin valikoimassa ei ole.

IEC 60300-tuoteperheessä IEC on määritellyt suuren joukon käyttövarmuuden hallintaan liittyviä standardeja, jotka kattavat käyttövarmuuden sen eri osa-alueiden johtamisesta aina yksittäisiin menetelmiin. Myös elinjaksokustannuslaskenta sisältyy IEC tarjontaan. IEC 60706-tuoteperhe keskittyy taas kohteiden kunnossapidettävyyden hallintaan.

Edellä mainittujen lisäksi on useita muita yksittäisiä ISO ja IEC-standardeja, jotka liittyvät tuotanto-omaisuuden hallintaan. Tällaisia ovat esimerkiksi laadun hallinnan, riskien hallinnan, toiminnan ulkoistamisen standardit.

## Kirjan rakenne

**Tietämysperusteinen elinjakson hallinta** -kirja koostuu neljästä osasta sekä terminologiaa käsittelevästä osuudesta. Kirjan osat toimivat myös itsenäisinä kokonaisuuksina, joten kirjassa esiintyy myös jonkin verran toistoa. Kirjan osat hyödyntävät omia lähteitään ja eri standardeja, eikä kirjan eri osien terminologiaa ole pyritty yhdenmukaistamaan.

Kirjan ensimmäinen osa (**Osa 1**) käsittelee elinkaaren ja elinjakson hallinnan käsitteitä ja perusteita, sekä turvallisuuden, RAMS-tekijöiden ja riskien hallintaa. Osassa esitellään elinjaksokustannusten mallintamista käyttövarmuuden ja sen osatekijöiden avulla sekä erilaisia elinjaksomalleja, elinkaaren hallinnan tehtäviä ja mallien sovelluksia. Elinjaksoa ja elinjaksomalleja tarkastellaan sekä tuotteen tai järjestelmän valmistajan, että loppukäyttäjän näkökulmista. Sekä käyttövarmuuden että turvallisuuden suunnittelussa korostuu järjestelmän määrittely- ja konseptisuunnitteluvaiheen merkitys. Pääomavaltaisen teollisuuden ja useiden infrastruktuuri- ja muiden teknisten järjestelmien elinjakso on usein hyvin pitkä, jopa kymmeniä vuosia, joten sidosryhmien vuorovaikutus ja yhteistyö elinjakson eri vaiheissa on tärkeää ja monimuotoista. Luvussa 1 kuvataan myös kiertotalouden ratkaisuja, koska elinjakson hallinnalla ja kiertotalous jakavat samoja tavoitteita ja lähestymistapoja, jotka tähtäävät resurssien tehokkaaseen käyttöön. Tässä luvussa esitellään myös tärkeimpiä elinkaaren hallinnan suorituskyvyn arviointiin käytettäviä menetelmiä, joita ovat mm. kokonaistehokkuus (OEE, KNL), elinjaksokustannukset (LCC) ja elinkaariarviot (LCA).

Kirjan toinen osa (**Osa 2**) käsittelee fyysisen omaisuuden (tuotanto-omaisuuden) hallintaa, jonka keskeinen osa-alue myös elinjakson hallinta on. Aluksi pyritään esittelemään tuotanto-omaisuuden hallinnan keskinen sisältö ja käsitteistö. Seuraavaksi tarkastellaan organisaation toiminta- ja teknologiaympäristön mallintamisen apuvälineitä ja toiminta- ja teknologiaympäristön vaikutusta omaisuuden hallintaan. Edelliseen nojautuen seuraavaksi esitellään menetelmä vaatimusten määrittelyyn tuotanto-omaisuudelle. Kolmannessa Osan 2 luvussa tarkastellaan investointipäätöksiä ja niissä tarvittavia laskentamenetelmiä sekä niiden soveltuvuutta eri tilanteisiin. Seuraavaksi tarkastellaan kunnossapitostrategian määrittelyä tuotanto-omaisuuden hallinnan viitekehyksessä. Kunnossapitostrategian määrittelyn tärkeä osa-alue on laitteiston kriittisyysmäärittely. Kriittisyysmäärittelyä tarkastellaan seuraavaksi PSK 6800 standardiin nojautuen. Yritysjohdolle joutuu tekemään päätöksiä yhä monimutkaisemmissa ympäristöissä ja siksi lopuksi laajennetaan omaisuuden hallinnan näkökulmaa tutkimalla sen tärkeitä strategisia ulottuvuuksia.

Kirjan kolmas osa (**Osa 3**) paneutuu elinjakso hallinnan kannalta keskeisen tiedon hankkimiseen, jalostamiseen, analysointiin ja hyödyntämiseen. Digitalisaation myötä painopiste siirtyy datan keräämisestä tiedon hyödyntämiseen. Keskeisten tietojärjestelmien (PDM, PLM, CMMS ja EAM-järjestelmät) lisäksi tarkastellaan kunnonvalvontaa ja tietojärjestelmien rajapintoja ja tietokanta-arkkitehtuuria. Lisäksi tarkastellaan menetelmiä asiantuntijatiedon sekä niin sanotun hiljaisen tiedon keräämiseen. Pääpaino on tiedon analysointiin ja jalostamiseen käytettävien menetelmien kuvaamisessa lähtien kuvailevan data-analyysin soveltamisesta stokastiseen simulointiin. Osassa tarkastellaan myös tiedon hyödyntämistä, järjestelmän käyttäjän, toimittajan ja palvelutarjoajan näkökulmista. Lopuksi luodataan katsaus tulevaisuuden kehitysnäkyymiin ja -tarpeisiin.

Kirjan neljännessä osassa (**Osa 4**) esitellään elinjakson hallinnan menetelmiä ja ratkaisuja käytännön esimerkkien kautta. Osaan 4 kootut esimerkit kattavat elinkaaren eri vaiheet lähtien kehitystarpeiden tunnistamisesta ennakointimenetelmien avulla päätyen kiertotalouden liiketoimintamallien esittelyyn. Tuotteen suunnitteluvaihetta tarkastellaan sekä toimitusprosessin että tuotekehitysprojektin ja kunnossapidettävyyden suunnittelun kautta. Käyttövaiheen osalta käydään läpi esimerkkejä investointikohteiden valinnasta ja korvausinvestointien suunnittelusta. Käyttövaiheeseen

liittyy myös tuotantojärjestelmän kehittäminen, jossa uudet teknologiset ratkaisut ja niiden onnistunut implementointi ovat avainasemassa. Osa 4 esittelee myös päätöksenteon tuen malleja ja menetelmiä, joista esimerkkinä hankittavan järjestelmän elinjakso-kustannusten arviointi sekä robustiset strategisen omaisuuden hallinnan mallit.

Tämän lisäksi kirjaan on liitetty omana osanaan (Osa 5) Termit käsitteet ja määritelmät. Elinjakson ja elinkaaren hallintaan liittyvä terminologia on vaihtelevaa ja sovelluskohtaista. Tästä syystä olemme koonneet yleisesti käytettyjä termejä suomenkielisin käännöksineen ja kuvauksineen erilliseen osaan.

## Kirjan merkitys ja hyödyntäminen

Tuotannollista toimintaa harjoittavat yritykset käyttävät keskimääräinen noin 5 % liikevaihdostaan kunnossapitoon. Tällöin kunnossapidon kustannuksiin luetaan vain suorat, kunnossapidosta aiheutuneet kustannukset, kuten palkat ja varaosat sekä ulkopuolisten palveluiden ostot sekä hankinnat. Tuoreessa diplomityössä<sup>1</sup> arvioitiin, että teollisen kunnossapidon arvo Suomessa on noin 4,1 miljardia euroa. Infrastruktuurin kunnossapitoon käytettiin selvityksen mukaan vuonna 2016 noin 2,1 miljardia ja rakennuskannan kunnossapitoon noin 7,6 miljardia vuosittain. Kunnossapitopalveluiden ja varaosien liiketoiminta oli tehdyn selvityksen mukaan suomalaisilla TOP500-yrityksillä vuonna 2016 noin 12,3 miljardia euroa, tästä suurin osa on Suomen ulkopuolella tehtävää toimintaa. Huomioitavaa kuitenkin on, että toiminnan johtaminen ja kehittäminen tapahtuvat usein Suomesta käsin. Elinkaaren, elinjakson ja tuotanto-omaisuuden taloudellinen merkitys on siis huomattava.

Elinkaaren hallinnan, kunnossapidon, tuotanto-omaisuuden ja luotettavuuden alueilta on julkaistu useita oppi- ja käsikirjoja, joista mainittakoon Hannu S. Laineen kirjoittama *Tehokas kunnossapito - tuottavuutta käynnissäpidolla* (2010), Høylandin ja Rausandin luotettavuustekniikan perusteos *System Reliability Theory* (2009), Hastingsin *Physical Asset Management* (2015) sekä Moubrayn *Reliability-Centered Maintenance* (2001). Tuotetiedon hallinnasta on myös saatavilla lukuisia teoksia, kuten esimerkiksi John Starkin *Product Life Cycle Management - 21<sup>st</sup> Century Paradigm for Product Realisation* (2006).

**Tietämysperusteinen elinjakson hallinta** - kirjassa tarkastelemme elinkaaren hallinnan kysymyksiä monitieteisesti, johtamisen ja tietoon pohjautuvan päätöksenteon näkökulmasta. Suomenkielisten oppi- ja käsikirjojen valikoima on kuitenkin suppea. Pyrimme tuomaan esille:

- Elinkaaren ja -jakson hallinnan tehtäviä ja eri sidosryhmien tavoitteita ja yhteistyötä
- Käyttövarmuuden, turvallisuuden ja riskien hallinnan merkitystä
- Vaatimusten määrittelyä fyysiselle omaisuudelle liiketoiminta- ja teknologiaympäristön kriittisistä menestystekijöistä lähtien
- Kunnossapidon strategioiden määrittelyä elinjakson hallinnan tärkeänä osana
- Elinjakson hallinnassa vaadittavan tiedon ja osaamisen monimuotoisuutta
- Tiedon, tiedon jalostamisen ja tiedon hyödyntämisen kasvava merkitys liiketoiminnassa
- Periaate ja tekniikka datan jalostamisesta tiedoksi
- Datan mallintamisen tilastomatemattiset perusteet

Kirja on tarkoitettu oppi- ja käsikirjaksi yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen elinkaaren hallinnan (*life cycle management and engineering*) ja tuotanto-omaisuuden hallinnan (*asset management*) opintoihin, samoin kuin näiden aihealueiden täydennyskoulutukseen. Tästä syystä jokaisen luvun tärkein sisältö on kiteytetty kunkin luvun loppuun kohtaan ”Keskeiset opit”. Erityisesti kirjan Osa 3 tulee myös luotettavuustekniikan (*reliability engineering*) opintoja ja auttaa ymmärtämään tieto-

---

<sup>1</sup> Repo, T. (2018) Modelling of Finnish maintenance markets and its development. Master's thesis. LUT-University. School of Engineering Science, Industrial Engineering and Management. <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/158348>

pohjaisten palveluiden erityispiirteitä. Kirja hyödyttää myös muiden elinkaaren hallinnan kysymyksiä ja tuotanto-omaisuuden haasteita pohtivien asiantuntijoiden työtä ja auttaa toivottavasti uusien ratkaisujen kehittämisessä.

## Kiitokset

Suuri osa **Tietämysperusteinen elinjakson hallinta** -kirjan kappaleista on tuotettu osana käynnissä olevia tutkimushankkeita, joiden päärahoittajat ovat Business Finland, yritykset ja tutkimuslaitokset. Tämän lisäksi kehitystyötä on voitu tehdä esimerkiksi Puolustusvoimien tutkimusohjelmissa. SFS, METSTA ja Promaint ry ovat osaltaan mahdollistaneet osallistumisen kansainväliseen standardisointityöhön ja PSK kotimaiseen standardisointiin. Kirjoittajat lämpimästi kiittävät kaikkia niitä tahoja, jotka ovat tehneet työmme mahdolliseksi.

# EXECUTIVE SUMMARY

*Helena Kortelainen*

On a general level, *Life Cycle Management (LCM)* is a business management approach for managing the entire life cycle of goods and services in order to improve their performance and sustainability. For a company developing and delivering goods and services, *Product Lifecycle Management (PLM)* refers to the business activity of managing company's products through their lifecycles from the very first idea to manufacturing and to the installation at the customer site, and through the utilization phase until the product is retired and disposed. In the utilization phase, the lifecycle management refers to the set of activities consisting of planning and monitoring, and of decision making that is necessary to plan, monitor, operate, maintain and improve the performance of an item. Assets are items that have potential or actual value to the organisation. Physical products are assets to their owners and users, but assets could be also intangible like employees' skills or company brand. *Asset management* refers to the set of coordinated activities that an organization uses to realize this value. Asset management plans over the different timeframes should help to clarify what should be done with assets and when, and to balance these actions with monetary and other benefits, and with risks. Life cycle thinking is thus deeply rooted in asset management.

Industrial assets are becoming increasingly instrumented with sensors, intelligent and connected. Data is in the core of Industry 4.0 and in the core of the digitalisation process in general. **Knowledge-based lifecycle management** book presents models, methods and practical examples of life cycle management activities in capital intensive industries or organisations operating such items. Comprehensive, high-quality data is needed throughout the product/asset life cycle in every stage from planning the items on the drawing board to optimizing the operations in the utilisation phase and to supporting business decisions at the strategic level. Data is the raw material for knowledge - the ability to structure and interpret information that support all the life cycle stages and levels of decision-making.

**Knowledge-based lifecycle management** book consists of four separate parts and of an additional terminology catalogue part. The first part of the book (*Part 1 - Life cycle management - from concept to use phase and beyond*) deals with the basic definitions and rationale for life cycle management, as well as safety, RAMS factors and risk management. The part introduces the modelling of life cycle costs using availability performance and its components, as well as various life cycle models, life cycle management tasks and applications. The life cycle is viewed from the perspectives of both the product or system manufacturer and the end user i.e. asset owner. Part 1 also describes the main methods used to assess the performance of life cycle management, which are e.g. overall equipment efficiency (OEE), life cycle cost (LCC) and life cycle assessment (LCA). In addition, Part 1 drafts the connections of LCM to circular economy.

*Part 2 - Asset management* deals with the management of physical assets, the central part of which is also the management of life cycle. Part 2 presents tools for modelling the organization's operating and technology environment and the impact of these factors on asset requirements and management. Furthermore, this Part studies investment decision-making and the calculation methods as well as their suitability for different situations. Part 2 offers also methods to define maintenance strategy within the asset management framework. An important part of defining a maintenance strategy is the criticality of asset items. Corporate management has to make decisions in increasingly

complex environments and therefore Part 2 expands the perspective by exploring strategic dimensions in asset management.

The third part of the book (*Part 3 - Data collection, analysis and utilisation*) focuses on the acquisition, processing, analysis, refining and utilization of information that is central to life cycle management. With the progress of digitalisation, the focus is shifting from data collection to data utilization. In addition to key information systems (e.g. PDM, PLM, CMMS and EAM), condition monitoring, information system interfaces and database architectures are examined. In this Part, expert elicitation as well as tacit knowledge are considered as important sources of data and interpretation. The main emphasis is on describing the methods used to analyse and process the data, starting from the application of descriptive data analysis to stochastic simulation. The section also looks at data utilization from the perspectives of the system user, supplier, and service provider. Finally, an overview of future development prospects and needs is created.

*Part 4 - Methods, tools, technologies and application examples* presents lifecycle management methods and solutions through practical examples. The examples compiled in Part 4 cover the different stages of the life cycle, from the identification of development needs through foresight methods to the presentation of business models in the circular economy. The product design phase is examined through a project delivery process, incremental product development and maintainability planning. The utilisation phase is covered by examples of the replacement investment decision-making. Often enhancement and improvement of a production system is required and at this stage new technological solutions and their successful implementation play a key role. Part 4 also presents decision support models and methods, such as the life cycle cost assessment and robust strategic asset management models.

Companies engaged in production activities spend on average about 5% of their turnover on maintenance. This figure includes only direct maintenance costs, such as salaries and spare parts, as well as purchases of external services. A recent study<sup>2</sup> estimated that the value of industrial maintenance in Finland is about 4.1 billion euros. According to this study, the maintenance services and spare parts business in Finnish TOP500 companies is approximately EUR 12.3 billion euros (2016), most of which arise in the business units outside Finland. However, often the management and development of such services often take place in Finland. Life cycle management and the business opportunities that life cycle related services offer, are also significant from the economic view point. Decision-making in a rapidly changing business environment under the pressure of changing and ever-tightening requirements emphasizes the ability to anticipate and prepare for change. At the acquisition phase, the user must be prepared for the cost of maintaining the product, and over the years and perhaps decades these incurring costs may exceed the original purchase price many times.

The sustainable use of natural resources and the looming shortage of many important raw materials raise the importance of life cycle management. Extending the life of machinery and equipment improves resource efficiency, but at the same time requires emphasis in lifecycle management activities such as maintenance, refurbishment and upgrade investment, and technical performance of systems. The circular economy, which emphasizes the reuse and recycling of materials, is based on the principles of sustainable development and seeks to solve the challenges of a linear “use and dispose” models. Comprehensive life cycle data management is also a necessary enabler for re-use of machines and equipment in a new application.

---

<sup>2</sup> Repo, T. (2018) Modelling of Finnish maintenance markets and its development. Master's thesis. LUT-University. School of Engineering Science, Industrial Engineering and Management.  
<https://lutpub.lut.fi/handle/10024/158348>



# OSA I

## ELINJAKSON HALLINTA - KONSEPTISTA KÄYTTÖÖN



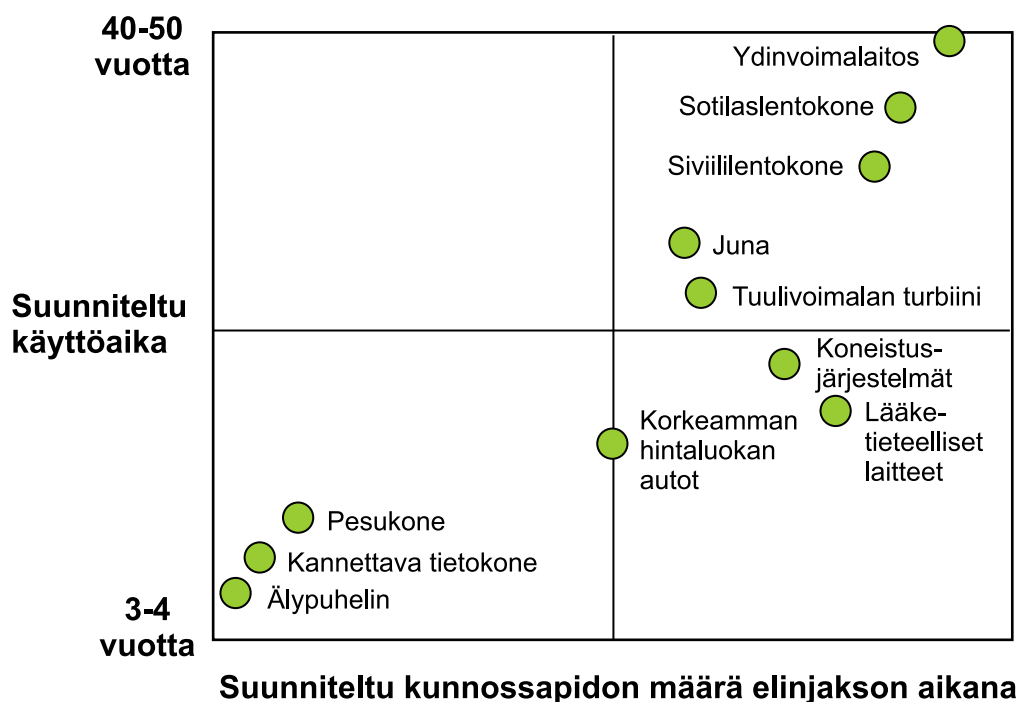
# ELINJAKSON HALLINTA

*Helena Kortelainen*

## Johdanto

Elinkaaren ja -jakson merkitystä korostavat useat tuntemamme muutostrendit kuten luonnonvarojen Tuotteen, järjestelmän tai palvelun elinjakso on se ajanjakso, joka alkaa, kun kohde määritellään ja päättyy, kun kohde poistetaan käytöstä tai kun se siirtyy toiseen käyttöön. Tuotteen suunniteltu käyttöikä vaikuttaa merkittäväällä tavalla valittaviin materiaaleihin ja teknisiin ratkaisuihin sekä käyttövaiheen toimintatapoihin ja tehtäviin. Elinjakson hallinnan merkitys onkin noussut kestävän kehityksen ja resurssitehokkuuden sekä turvallisuus- ja ympäristövaikutuksiin liittyvien vaatimusten kiristymisen myötä. Päätöksenteko nopeasti muuttuvassa liiketoimintaympäristössä korostaa kykyä ennakoida ja varautua muutoksiin.

Erityisesti pääomavaltaisessa teollisuudessa ja infrastruktuurijärjestelmien osalta käyttövaihe on yleensä pitkä, useita kymmeniä vuosia. Tästä syystä järjestelmän suorituskyvyn, tuottavuuden tai turvallisuuden kehittäminen, jatkuva parantaminen ja järjestelmien päivitys, uudistaminen ja kehittäminen investoinnein ovat elinjakson hallinnan keskeisiä tehtäviä. Tuotteen elinkaaren pidentämisen, kierrätettävyyden ja elinjakson loppuvaiheessa tapahtuvan purkamisen huomioivat suunnitteluratkaisut sekä säästäväisyyttä resurssien käytössä tukevat liiketoimintamallit ovat myös osa kiertotaloutta. Kuluttajatuotteiden suunniteltu käyttöikä on usein lyhyt verrattuna investointihyödykkeisiin, joiden käyttöikää jatketaan muun muassa kunnossapidon avulla. Tätä ero havainnollistaa Kuva 1.1, johon on koottu tyypillisiä kuluttajatuotteita ja pitkän elinkaaren järjestelmiä ja arvioitu näiden tuotteiden vaatiman kunnossapidon tarvetta.



Kuva 1.1. Kunnossapidon merkitys pitkän ja lyhyen elinkaaren tuotteilla (Roy ym., 2016)

Tämä kirja keskittyy monimutkaisiin tuotteisiin ja järjestelmiin, joille tyypillistä on pitkä käyttöikä tuotantotoiminnassa, ja joiden elinjakson aikana järjestelmän luotettavuus ja turvallisuus sekä kunnossapito ja aktiivinen tuotanto-omaisuuden hallinta korostuvat. Investointihyödykkeet (*capital goods, investment goods*) ovat tuotantovälineitä, joihin yritykset investoivat ja joiden avulla yritykset tuottavat uusia tuotteita tai palveluja joko kuluttajien tai toisten yritysten käyttöön. Usein investointihyödykkeet koostuvat kaupallisista komponenteista tai osista, mutta ne on suunniteltu ja räätälöity asiakkaan tarpeisiin sopivaksi. Investointihyödykkeet eroavat siis monin tavoin kulutushyödykkeistä, joita kuvassa 1.1 edustavat kuluttajaelektroniikka ja kodinkoneet. Elinjakson hallinta menettelytapoineen, malleineen ja menetelmineen auttaa päätöksentekijää optimoimaan suorituskykyvaatimukset ja suorituskyvyn ylläpitämiseen väistämättä liittyvät kustannukset sekä arvioimaan tulevaisuuden epävarmuuteen liittyvää riskiä. Myös turvallisuuskysymysten huomioiminen on keskeinen elinjakson hallinnan osa.

## Elinjakso, elinkaari ja elinikä

Englannin kielinen sana ”*Life cycle*” kääntyy suomen kielelle kahdella tavalla: elinjakso ja elinkaari. Käytännössä - ja usein kirjallisuudessaakin - termejä elinjakso ja elinkaari käytetään toistensa synonyymeinä. Elinjakson ja elinkaaren hallinnan käsitteillä on kuitenkin erilainen merkitys. Tuotteen tai järjestelmän elinjakso koostuu toisiaan seuraavista tunnistettavista vaiheista, ja elinjaksoa kuvataan yleisellä tasolla seuraavan kuvan (Kuva 1.2) avulla. Tuotteen elinjakso koostuu tunnistettavista elinjakson vaiheista (IEC 60050-192, 2015; IEC 60300-1, 2014; ISO/IEC/IEEE 15288, 2015; DIN ISO 15226, 2017). Koneen, laitteen tai järjestelmän elinjakso muodostuu siis yleisesti ottaen suunnittelun ja rakentamisen vaatimasta ajasta, sekä eliniästä, jonka aikana kohde on käytössä. Elinjakso päättyy käytöstä poistoon, jonka jälkeen tuote poistuu käytöstä. Käytöstä poisto voi myös tarkoittaa toisen elinjakson alkua, jos laite on myyty esim. uudelle käyttäjälle.

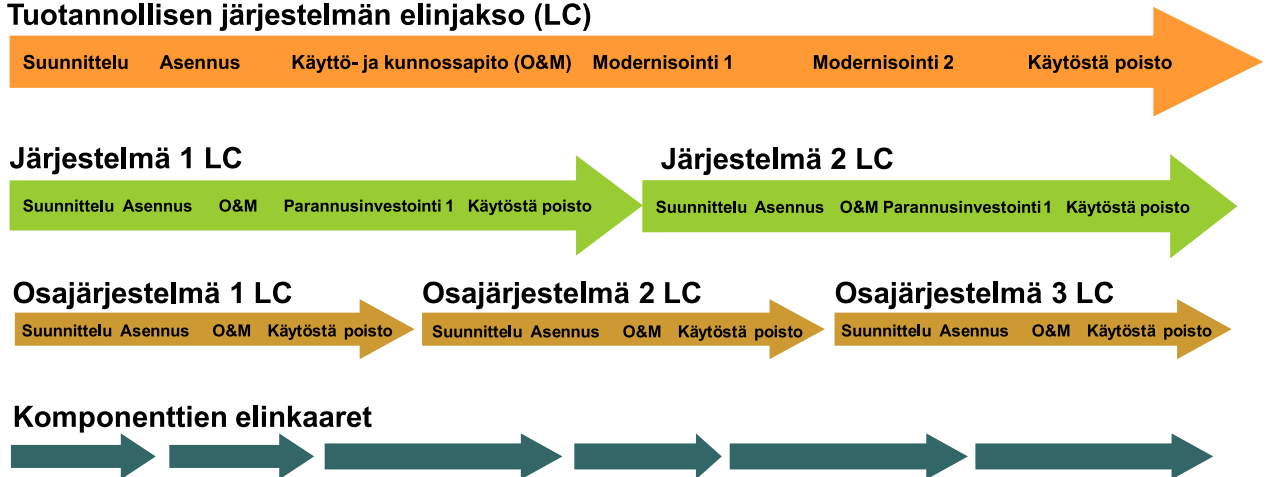


Kuva 1.2. Geneerinen elinjakso malli (IEC 60300-1, 2014)

Ympäristötieteissä paljon käytetty elinkaaren käsite on laajempi ja se kattaa tuotteen vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tuotteesta syntyvien jätteiden loppukäsittelyyn asti<sup>3</sup>. Usein puhutaankin kehdestä - hautaan (*from cradle to grave*) ajattelusta. Jokaisella tuotteella on myös kaupallinen elinkaari, jonka aikana tuote on markkinoilla. Kaupallinen tuote voi korvautua ominaisuuksiltaan paremmalla, kustannuksiltaan edullisemmalla tai sosiaalisesti hyväksyttävämmällä tuotevariaatiolla tai toisella tuotteella, jolloin tuotteen elinkaari päättyy ja tuote poistuu markkinoilta. Vaikka tuote tai tietty tuotesukupolvi poistuu toimittajan valikoimista ja kauppojen hyllyiltä, voi yksittäisen kohteen käyttö ja elinikä jatkuu.

Teollisiin sovelluksiin suunniteltujen tuotteiden ja järjestelmien suunniteltu käyttöikä voi olla vuosikymmeniä, mutta yleensä järjestelmä sisältää osajärjestelmiä tai komponentteja, joiden odotettavissa oleva elinikä on paljon lyhyempi. Sekä teolliset että infrastruktuurijärjestelmät koostuvatkin käyttöikänsä ja elinkaarensa eri vaiheissa olevista osajärjestelmistä ja osista. Laajan järjestelmän rakenteiden, osajärjestelmien, koneiden ja laitteiden sekä komponenttien elinjakson ja elinkaaren eri vaiheet limittyvät keskenään (Kuva 1.3).

### Tuotannollisen järjestelmän elinjakso (LC)



Kuva 1.3. Elinjaksojen hierarkisuus (Ahonen ym., 2012)

Lyhyemmän käyttöiän omaavien järjestelmän osien uudistamiseen on hyvä varautua jo järjestelmän suunnitteluvaiheessa. Myös laitehierarkian huomioiminen on erittäin tärkeää järjestelmän käyttövarmuuden hallinnassa.

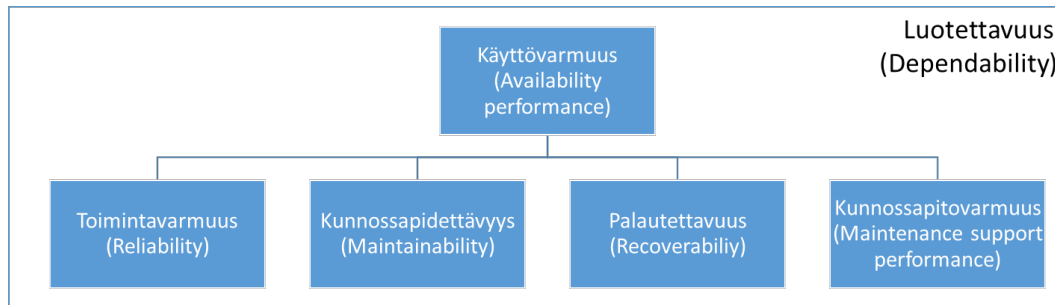
Jokaisella yrityksellä on omat ohjeensa investointien suunnitellun käyttöiän - pitoajan - arvioimiseksi. Pitoajan valinnassa huomioidaan investoinnin taloudellinen ja tekninen vanhentuminen; edullisimman uusinta-ajankohdan (*replacement time*) valinta on tyypillinen optimointiongelma. Eräänä suuntaviivana teknistä vanhenemista arvioitaessa käytetään laitteiden fyysistä elinikää. Teknologian kehittyessä investoinnin taloudellinen elinikä voi olla tätä huomattavasti lyhyempi koneiden ja laitteiden suorituskyvyn parantuessa ja markkinatilanteen muuttuessa.

### Käyttövarmuuden merkitys

Käyttövarmuudella (*availability performance*) tarkoitetaan kohteen kykyä suorittaa vaadittu toiminto, kun ulkoiset edellytykset toiminnon toteutumiselle ovat olemassa (IEC 60050-192, 2015). Käyttövarmuuden määrittelyä voidaan soveltaa erilaisiin kohteisiin niiden koosta ja käyttötarkoituksesta riippumatta. Kohde voi olla yksittäinen kone, laite tai komponentti tai monista osajärjestelmistä koostuva mittava tuotantojärjestelmä.

<sup>3</sup> Tieteen termipankki <http://tieteentermipankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:elinkaari>

Käyttövarmuus ja turvallisuus ovat suorituskyvyn ohella merkittäviä tuotteen elinjakson hallintaan liittyviä tuoteominaisuuksia. Siksi niiden hallinta jo tuotekehityksen alkuvaiheista alkaen on erittäin tärkeää. Käyttövarmuus koostuu neljästä osatekijästä (Kuva 1.4), joita ovat toimintavarmuus, kunnossapidettavuus ja kunnossapitovarmuus sekä palautettavuus (IEC 60050-192, 2015). Toimintavarmuus ja kunnossapidettavuus ovat suunniteltavan kohteen ominaisuuksia, joihin tuotekehityksen ja suunnittelun aikana tehdyillä päätöksillä vaikutetaan. Kunnossapitovarmuus puolestaan kuvaa kunnossapito-organisaation kykyä tuottaa tarvittava palvelu kohteelle, joten kunnossapitovarmuuden kehittäminen ja ylläpidon järjestäminen ovat tuotetta käyttävän organisaation tehtäviä. Neljäs tekijä - toipumiskyky tai palautettavuus (*recoverability*)- liittyy järjestelmän tai tuotteen kykyyn palauttaa itsenäisesti kohteen toimintaan vaikuttava tieto ja siten järjestelmän vaadittu toiminta ilman korjaavaa kunnossapitoa.



Kuva 1.4. Käyttövarmuuden osatekijät (IEC 60050-192, 2015)

Käyttövarmuutta mitataan käytettävyydellä (*Availability, A*), joka ilmoitetaan yleensä prosentteina. Käytettävyyden komplementti on epäkäytettävyyys (*Unavailability, U*).

Tuotantolaitosten, järjestelmän ja yksittäisten laitteiden käytettävyyys merkitsee niiden moitteetonta ja turvallista toimintaa. Luotettavuus on yläkäsite, johon voidaan liittää edellä kuvattujen neljän osatekijän lisäksi myös kestävyys (*durability*), turvallisuus (*safety*) ja kyberturvallisuus (*security*). Järjestelmän käyttövarmuuteen vaikuttaa toki myös kuvassa (Kuva 1.4) esitettyjen teknisten näkökulmien lisäksi käyttö- ja kunnossapidon henkilöstön kyvyt, ammattitaito ja osaaminen sekä käytettävissä olevien resurssien (ml. varaosat, tarvikkeet, työkalut) sijainti ja määrä. Turvallisuuden suunnittelua ja hallintaa järjestelmän elinjakson eri vaiheissa on tarkasteltu yksityiskohtaisemmin kappaleessa 1.3 (Turvallisuuden hallinta elinjakson eri vaiheissa).

Tuotantolaitoksen tai useista koneista ja laitteista muodostuvan järjestelmän käyttövarmuuden tarkastelu edellyttää teknisen järjestelmän luotettavuuden mallintamista. Järjestelmä voi koostua eri tavoin toisiinsa kytkeytyvistä osista sekä koko järjestelmän toimintaan vaikuttavista välivarastoista ja -säiliöistä. Luotettavuustekninen rakenne määrää yksiselitteisesti, kuinka laitteiden ja osajärjestelmien käytettävyyksistä lasketaan koko järjestelmän käytettävyyys. Käytettävyyden laskentaa käsitellään tarkemmin tämän kirjan Osassa 3 (Tiedon kerääminen, analysointi ja hyödyntäminen).

Käyttövarmuus on yksi keskeinen tuotteen laatutekijä. Tästä syystä käyttövarmuustavoitteet on asetettava tuotteen elinjakson hyvin varhaisessa vaiheessa, jotta niiden toteutuminen on mahdollista suunnitella. Käytännössä konseptivaiheessa saatavilla oleva tieto ei useinkaan salli käyttövarmuusvaatimusten yksityiskohtiin menevää käsittelyä. Sen sijaan on tärkeää antaa suuntaviivoja käyttövarmuussuunnittelulle ja vaikuttaa keskeisiin käyttövarmuuden tekijöihin riittävän varhaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia. Esimerkki laadullisten tavoitteiden asettamisesta löytyy tämän kirjan Osasta 4 (Menetelmiä, työkaluja, teknologioita ja sovellusesimerkkejä). Yksityiskohtaisten tavoitteiden määrittäminen tai asetettujen tavoitteiden täsmentäminen on mahdollista tuotekehitysprosessin aikana suunnittelun edessä. (Ahonen ym., 2012)

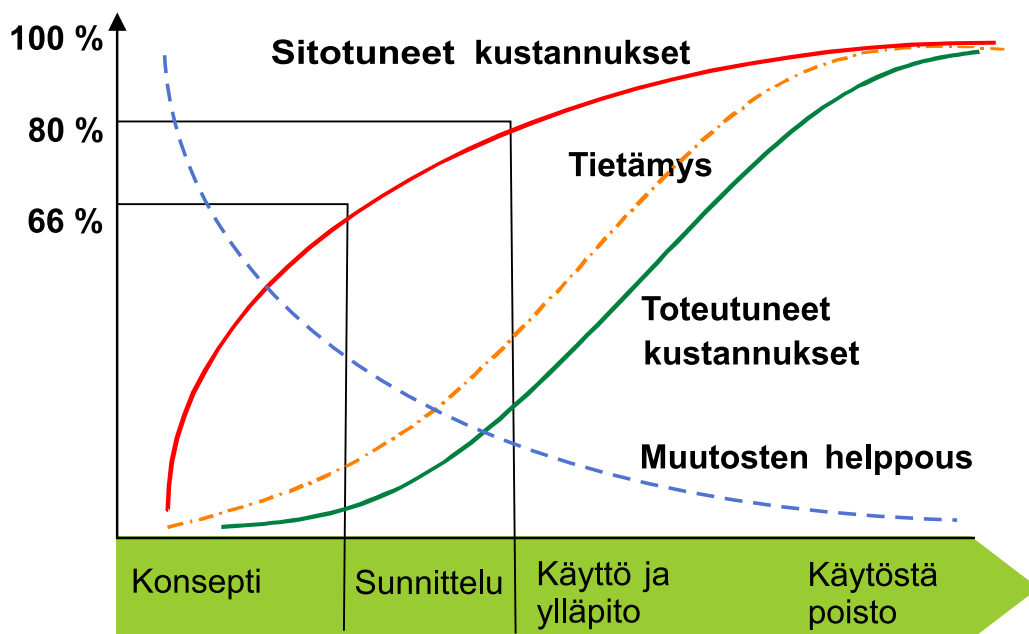
## RAMS

Luotettavuuden osatekijöistä - toimintavarmuus (*Reliability, R*), käyttövarmuus (*Availability, A*), kunnossapidettavuus (*Maintainability, M*) ja turvallisuus (*Safety, S*) - käytetään usein termiä RAMS. Termi on alkujaan otettu käyttöön rautatiesektorilla. Rautatiealan standardi (CENELEC - EN

50126-1, 2017) määrittelee järjestelmän koko elinjakson kattavan RAMS-hallinnan keskeiset prosessit ja tehtävät sekä systemaattisen prosessin, joka on räätälöitävissä sekä tarjoaa menetelmiä keskenään ristiriitaisten vaatimusten hallintaan.

## Elinjaksokustannusten muodostuminen

Tuotteen koko elinjakson aikana syntyvien kustannusten ja elinjakson aikana syntyvien hyötyjen osalta merkittävimmät päätökset tehdään tuotekehityksen aikaisissa vaiheissa. Tuotteen konsepti- ja kehitysvaiheessa luodaan perusta suunniteltavalle tuotteelle, ja näiden varhaisessa vaiheessa tehtyjen päätösten muuttaminen suunnittelun edetessä vaikeutuu. Kirjallisuudessa usein esitetty arvio on, että jopa 80% tuotteen koko elinjakson aikana syntyvistä kustannuksista on sidottu elinjakson varhaisissa vaiheissa tehdyillä tuotteen ominaisuuksia, suorituskkyä, luotattavuutta ja käytettyä teknologiaa määrittävien ratkaisujen myötä (esim. Blanchard & Fabrycky, 2000, p.37). Todellista, toteutuneista kustannuksista tässä vaiheessa on aiheutunut vasta hyvin pieni osa. Mitä tarkemmin suunniteltavan tuotteen spesifikaatiot pystytään määrittelemään ennen varsinaisen tuotekehityksen aloittamista, sitä varmemmin lopputuote täyttää sille asetetut vaatimukset.



Kuva 1.5. Elinjaksokustannusten muodostuminen

Kuva 1.5 havainnollistaa elinjaksokustannusten muodostumista. Kuvaajassa sitoutuneilla elinjaksokustannuksilla tarkoitetaan kustannuksia, jotka syntyvät elinjakson myöhemmissä vaiheissa, mutta alkuvaiheissa tehtyjen päätösten seurauksena. Esimerkki tällaisesta, hyvin varhaisessa vaiheesta tehdystä päätöksestä on koneen käyttövoiman valinta: käyttövoiman vaihtaminen tuotteen elinjakson aikana on vain harvoin taloudellisesti tai teknisesti mahdollista. Kuvassa todelliset kumulatiiviset kustannukset ennakoivat todellisia tulevia kuluja. Elinjaksokustannusten ennakointi tuotekehityksen aikana voi vaikuttaa merkittäväällä tavalla tuotteen suunnittelun ratkaisuihin.

Esimerkkinä voidaan mainita Alstomin metrojuniin liittyvä kehitystyö. Kun asiakas siirtyi metroluokan uudenlaiseen toteutukseen ja hankinnan sijaan päätyi ostamaan junaliikenteen palveluna, muuttui myös toimittajan liiketoimintamalli. Koska junien arvioitujen elinjaksokustannukset 30v käyttövaiheen aikana olivat noin 3-4 kertaa hankintahinta, joutui toimittaja harkitsemaan suunnitteluvaiheessa tarkasti toimintavarmuuteen, käytettävyyteen ja kunnossapidettävyyteen liittyviä valintoja. Toimittaja tekikin yli 250 muutosta, joiden avulla junista tuli helpompia käyttää ja huoltaa. (Davies, 2004)



## Mitä on elinjakson hallinta?

Elinjakson hallinnalla (*Life Cycle Management, LCM*) tarkoitetaan tuotteen elinjaksoa kokonaisuudessaan ja sen tavoitteena on optimoida tuotteen suunnittelu, toteutus ja elinjakson aikana tapahtuvat toimenpiteet elinjakso kustannusten suhteen (Westkämper, 2000). Elinjakson hallinnan menetelmin pyritään siis täyttämään järjestelmän toiminnalliset vaatimukset ja samaan aikaan minimoimaan järjestelmän elinjakso kustannukset (*Life Cycle Cost, LCC*). Elinjakson hallinta ei ole siis vain tekninen kysymys. Elinjakson hallinta sisältää myös taloudellisen näkökulman, kustannusten ja tuottojen sekä riskien tarkastelun.

Elinjakson hallinta mahdollistaa tuotteen elinjakson prosessien ja niiden rajapintojen määrittelyn sekä ohjaamisen. Elinjakson hallinnassa korostuu vaihteellisuus ja vaiheesta toiseen siirtymiseen voi tapahtua vain ennalta määriteltyjen kriteerien täytyessä (esim. IEEE 24748, 2018). ***Elinjakson hallinta muodostuu suunnittelun, seurannan ja päätöksenteon kokonaisuudesta, jolla suorituskkyyn tai järjestelmän olemassaolon aikaisten vaiheiden sisältö, aikataulu ja resursointi suunnitellaan, suunnitelmien toteumaa seurataan sekä suunnitelmia ylläpidetään*** (Jokinen, 2011).

Yleensä elinjakson - tai elinkaari - määritellään tietylle kohteelle, esimerkiksi:

- Sovelluksen elinjakson hallinta (ohjelmistot)
- Rakentamisen elinjakson hallinta (rakennusten suunnittelu ja rakentaminen)
- Tuotetiedon elinjakson hallinta (datan tallentaminen tietojärjestelmissä)
- Tuotantolaitoksen elinjakson hallinta (teollisuuden tuotantolaitokset)
- Tuotteen elinkaaren hallinta (markkinointi)
- Tuotteen elinjakson hallinta (suunnittelu ja valmistaminen)

Tuotteet sisältävät nykyisin hyvin usein sekä laitteisto- että ohjelmistokomponentteja, jolloin tuotteen elinjakson hallintaan liittyy myös (ohjelmisto)sovelluksen elinjakson hallinta.

Elinkaaren hallinta voi tarkoittaa myös tuotteen ympäristövaikutuksien arviointia ja hallintaa tuotteen koko elinkaaren aikana. Silloin puhutaan usein ”kehdosta hautaan” (*cradle-to-grave*) - mallista. Elinkaarianalyysi kattaa materiaalin, prosessin ja energian raaka-aineiden hankinnan ja tuotannon, kuljetus- ja käyttövaiheen, aina tuotteen käytöstä poistoon saakka. ”Kehdosta kehtoon” (*cradle-to-cradle*) malli ja vaikutusten arviointi puolestaan kattaa myös tuotteen käytöstä poistamisen jälkeen tapahtuvan kierrättämisen. Kierrätysprosessista saadaan uusia samanlaisia tuotteita (esim. lasipullot kierrätyslasipulloista), tai eri tuotteita kuten eristyslasivilla kierrätyslasipulloista.

## Keskeiset opit

- Tuotteen, järjestelmän tai palvelun elinjakso alkaa määrittelystä ja päättyy, kun kohde poistetaan käytöstä tai kun se siirtyy toiseen käyttöön.
- Käyttövarmuuden hallinta elinjakson aikana vaatii yhteistyötä. Tuotteen käyttövarmuuteen vaikuttavat sekä tuotteen ominaisuudet kuten toimintavarmuus ja kunnossapidettavuus, että käyttäjän organisoima kunnossapitovarmuus.
- Elinjakson hallinta alkaa tuotekehityksessä, jolloin merkittävät suorituskkyyn, käyttövarmuuteen ja turvallisuuteen sekä käytön taloudellisuuteen vaikuttavat ratkaisut tehdään.
- Elinjakson hallinnan tavoitteena on optimoida tuotteen suunnittelu, toteutus ja elinjakson aikana tapahtuvat toimenpiteet elinjakso kustannusten suhteen.
- Elinkaaren hallinta tarkoittaa tuotteen ympäristövaikutuksien arviointia ja hallintaa tuotteen koko elinkaaren aikana. Termiä käytetään myös, kun tarkoitetaan tuotteen kaupallista elinkaarta.

# 1.2

## ELINJAKSOMALLIT

Helena Kortelainen

### Johdanto

Standardit sekä tuotteen, tuotekehityksen, projektien ja tuotanto-omaisuuden hallintaa käsittelevä kirjallisuus esittelee lukuisia erilaisia elinjaksomalleja. Esimerkiksi standardi VDI 2221 (1993) käsittelee elinjaksoa koneenrakennuksen näkökulmasta, kun Ulrich & Eppinger (2004, p.9) puolestaan käsittelevät tuotteen elinjaksoa lähinnä kuluttajatuotteiden suunnittelun ja kehittämisen näkökulmasta. Elinjaksomalli on myös elinkaariarvioinnin (*Life Cycle Assessment, LCA*) perustana (ks. tarkemmin kappale 1.5 Elinjakson hallinnan suorituskyky ja -mittarit).

Kaikilla tuotteilla ja järjestelmillä on elinjakso - ja elinkaari. Elinjaksomalli on tapa kuvata tämä ajanjakso erilaisten vaiheiden avulla. Mallien vaiheistus tukee myös eri osapuolten välistä kommunikatiota ja yhteisen ymmärryksen muodostamista (ICE 60030-1, 2014). Elinjaksomalli koostuu prosesseista, joiden määrä ja laatu määräytyvät kohteen ja tarpeen mukaan. Kohteen elinjakson eri vaiheet voivat myös toteutua limittäin tai osittain samaan aikaan, ja järjestelmän eri osat voivat olla elinjaksonsa tai elinkaarensa eri vaiheissa.

Valmistajan näkökulmasta katsottuna elinjakson alkupiste on markkinoiden tarve tuotteelle tai idea tuotteesta, kun taas käyttäjän näkökulmasta katsottuna tuotantohyödykkeen elinjakso alkaa tarvemäärittelystä ja hankintapäätöksestä. Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan teknisen elinjakson hallinnan kannalta keskeisiä malleja.

### Geneerinen elinjaksomalli

Yleisellä tasolla tuotteen, palvelun tai järjestelmän elinjakso etenee kuvassa 1.1 (Kuva 1.1) esitetyn mallin mukaisesti konseptista käyttöön ja käytöstä poistoon/uusiokäyttöön toisiaan seuraavina elinjakson vaiheina. Kuhunkin elinjakson vaiheeseen liittyy kyseiselle vaiheelle tyypillisiä tehtäviä, ja näitä tehtäviä on listattu seuraavissa kappaleissa IEC 60300 standardin (IEC 60300-1, 2014, Liite B) perusteella. Elinjaksomalli ei sinällään ota kantaa siihen, kuka tai mikä organisaatio mistäkin tehtävistä vastaa. Usein työnjako on hyvin selkeä ja tuotteen kehittäjä myös valmistaa suunnittelemansa tuotteen, jonka jälkeen omistusoikeus ja vastuu tuotteen elinjakson hallinnasta siirtyy ostajalle. Muitakin liiketoimintamalleja on olemassa ja niiden myötä myös vastuu elinjakson hallinnan tehtävien toteutuksesta voidaan sopia hyvin monella tavalla. Asiakkaan tarpeen mukaan räätälöidyissä järjestelmissä asiakas voi osallistua konseptointiin ja suunnitteluun hyvinkin merkittävällä panoksella. Toisaalta tuotteen valmistaja voi vastata myös tuotteen ylläpidosta ja käytöstä, tai tuote voi käytön jälkeen palautua toimittajalle uusiokäyttöön tai romutukseen.

#### *Konseptointi (Concept) tuotteen tai ratkaisun alustava ideointi*

- Markkina- tai muiden tarpeiden tunnistaminen, käyttöympäristön ja käyttötarpeiden määrittely, sääntelyn kautta muodostuvat vaatimukset, muut vaatimukset ja reunaehdot.
- Toiminnallisten ja ei-toiminnallisten vaatimusten sekä alustavien luotettavuus- ja turvallisuusvaatimusten määrittely.
- Alustavat tekniset vaatimukset, joiden pohjalta voidaan arvioida sitä kannattaako (järjestelmän osia) ostaa vai suunnitella itse.

- Keskenään mahdollisesti ristiriidassa olevien tekijöiden (esim. turvallisuus ja luotettavuus) tasapainon (*trade-off*) tarkastelu.
- Mallintamisen (esim. todennäköisyyteen perustuvat lähestymistavat), jonka avulla voidaan ennakoida esimerkiksi luotettavuutta ja arvioida käyttövaiheen kunnossapitotarpeita.
- Riskitarkastelut, joissa keskitytään suunnitelman toteutettavuuteen (*feasibility*) ja teknologiavalintoihin
- Suunnitteluvaihtoehtojen arviointi ja valinta

### ***Kehittäminen (Development); Toteutettavaksi valitun konseptin kehittäminen***

- Vaihe keskittyy suunnittelemaan ja toteuttamaan valitut suunnitteluratkaisut, jolla halutut toiminnot toteutuvat.
- Järjestelmän arkkitehtuurin suunnittelu, tekninen mallinnus, prototyyppien valmistus ja testaus. Rajapintojen ja integrointitarpeiden määrittely ja vuorovaikutus ulkoisten järjestelmien kanssa.
- Suunnitteluratkaisujen yksityiskohtaiset riskianalyysit ja riskien käsittely
- Kunnossapidettävyyden ja kunnossapidon tehtävien sekä käytön toimien suunnittelu.
- Mallintamisen (esim. todennäköisyyteen perustuvat lähestymistavat) lähtötiedot tarkentuvat, joten voidaan järjestelmän odotettavissa olevaa luotettavuutta ja kunnossapitotarpeita voidaan arvioida ja ennakoida.

### ***Toteutus (realization); Tuotteen toteuttaminen käytännössä***

- Vaihe toteuttaa osta tai valmista itse (*make or buy*) päätöksiä hankintojen ja valmistuksen osalta.
- Toteutuksessa suunnitelmat pyritään saamaan käytäntöön siten, että tuotteelle laaditut spesifikaatiot toteutuvat.
- Toteutusvaiheessa tuotteen komponentteja ja moduuleita simuloidaan, analysoidaan ja testataan mukaan lukien testit, joissa järjestelmän osat on integroitu toisiinsa.
- Valmistukseen liittyy myös asiakkaan kanssa sovittavat hyväksymiskäytännöt ja mahdolliset koeajot sekä toimittajan tiloissa, että asiakkaan käyttöympäristössä. Testien ja koeajojen tulosten pohjalta tehty validointi antaa objektiivisen näytön (*evidence*) spesifikaatioiden toteutumisesta.

### ***Käyttövaihe (Utilization); Tuotteen tai ratkaisun hyödyntäminen hyödyllisen käyttöajan ajan***

- Käyttövaihe alkaa, kun tuote tai palvelu otetaan käyttöön ja vaiheen aikana sen toimintakyvystä huolehditaan ylläpidon avulla
- Tuotteen käyttö ja ylläpito suorituskyvyvaatimusten mukaisesti, käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön kouluttaminen, asiakasrajapinnan hallinta (kun kyseessä on palvelutuote), toimenpiteiden kirjaaminen sekä vikatapahtumista ilmoittaminen korjaavien ja ehkäisevien toimien käynnistämiseksi.
- Riskitarkastelut, joissa tarkastellaan esimerkiksi ympäristöolosuhteiden ja liiketoimintaympäristön muutosten vaikutuksia.

### ***Parantaminen (Enhancement); Tuotteen tai ratkaisun suorituskyvyn kehittäminen käyttövaiheen aikana***

- Järjestelmän parantaminen voi tapahtua esimerkiksi kehittämällä uusia (tuote-) ominaisuuksia, jolloin järjestelmä vastaa paremmin asiakkaan tarpeisiin tai jatkamalla järjestelmän hyödyllistä käyttöikää (*operating life*) tai varautumalla järjestelmän vanhenemiseen (*obsolescence*).
- Tehtäviin voi liittyä sekä koneiden ja laitteiden kehitys- tai parannusinvestointeja että ohjelmistojen päivitystä, kunnossapidon parantamista tai toiminnallisen tehokkuuden kehittämistä muilla tavoilla.
- Parhaiden ratkaisujen valinnassa ja muutosten vaikutusten arvioinnissa voidaan hyödyntää mallintamista ja simulointia.

- Parannustoimenpiteiden riskejä arvioidaan usein kustannus-hyötytarkastelujen ja pääoman tuottoasteen näkökulmasta.

### ***Käytöstä poistaminen (Retirement); Tuote romutetaan tai siirtyy toiseen käyttöön***

- Käytöstä poisto-vaiheessa kohde voidaan purkaa ja hyödyntää kokonaan tai osittain toisessa käyttötarkoituksessa tai materiaalien uusiokäytön kautta tai kohde voidaan romuttaa.
- Huomioitava, että käytöstä poistoon liittyviä kysymyksiä on tarkasteltava jo konseptivaiheessa.
- Käytöstä poistamiseen voi liittyä viranomaisvaatimusten määrittämä käytöstä poiston prosessi (*decommissioning*)

Geneerisen elinjaksomallin jokainen vaihe voidaan vielä jakaa tarkemmin rajattuihin osiin ja yksityiskohtaisempiin prosesseihin. Esimerkiksi konseptivaihe voidaan jakaa toteutettavuustarkasteluun (*feasibility study*) ja konseptin määrittelyyn, sekä kehittämisvaihe alustavaan (*preliminary design*) ja yksityiskohtaiseen suunnitteluun (*detailed design*). Myös toteutusvaihetta voidaan kuvata rakentamisen ja implementoinnin kautta. Tällöin rakentamisella tarkoitetaan kohteen valmistamista ja implementoinnilla sen käyttöönottoa. Vastaavalla tavalla esimerkiksi konepajateollisuudessa voi olla mielekästä jakaa toteutusvaihe komponenttien valmistukseen ja kokoonpanoon sekä tarvittaessa edelleen näiden aliprosesseihin.

Erityisesti pääomavaltaisessa teollisuudessa ja infrastruktuurijärjestelmien osalta järjestelmän käyttövaihe on yleensä pitkä, jopa useita kymmeniä vuosia. Kohteen suorituskyvyn, toiminnan, taloudellisuuden tai turvallisuuden kehittäminen ja parantaminen ovat siten eräitä elinjakson hallinnan sekä tuotanto-omaisuuden hallinnan (*asset management*, katso Osa 2) keskeisimmistä tehtävistä. Parantamiseen liittyvillä toimilla voidaan pyrkiä kohteen eliniän jatkamiseen (*life extension*), johon voidaan pyrkiä esimerkiksi kehittämällä kunnossapitoa, muuttamalla käyttöprofiilia tai toimintaympäristöä, tai parantamalla kohteen toiminnallisuutta muilla tavoin. Parantamiseen liittyvillä toimilla voidaan pyrkiä myös suorituskyvyn, tuottavuuden tai järjestelmän avulla valmistettavan tuotteen laadun parantamiseen, jolloin voidaan tarvita parannus-, kehitys- tai modernisointeja (*upgrade, modernisation, renewal*). Parantamistoimet voivat olla luonteeltaan myös ohjelmistopäivityksiä (*update*) tai uusien digitaalisten ratkaisujen hyödyntämistä joko yksin tai osana koneiden ja laitteiden uudistuksia. Uudistuksen (*refurbishment*) avulla voidaan toteuttaa kokonaan uusia toimintoja tai parantaa toiminnallisuutta.

Käyttövaiheen kunnossapidon ja parantamisen välinen ero ei aina ole teollisuuden käytännöissä kovin yksiselitteinen eikä edes tarpeellinen. Kunnossapitotoimia tehdään normaalin käynnin aikana. Osa toimenpiteistä on kuitenkin mahdollista suorittaa vain silloin, kun tuotantoprosessin toiminta on keskeytetty. Muutaman vuoden välein toistuvissa laajemmissa kunnossapidon vaati-  
missa seisokeissa (*major shutdown, major overhaul, outage*) tehdään yleensä suurkorjauksia, joissa pyritään palauttamaan koneiden ja laitteiden kunto vaaditulle tasolle. Seisokeissa yksittäisiin laitteisiin ja kokonaisiin järjestelmiin voidaan myös tehdä niiden suoritustasoa parantavia muutoksia sekä laitoksessa investointeja, joiden avulla järjestelmiin tuodaan kokonaan uusia ominaisuuksia tai kapasiteettia.

### **Elinjakso - tuotteen ja valmistajan näkökulma**

Tuotteen valmistajan näkökulmasta elinjakson hallinnassa korostuvat perinteisesti elinjakson alkuvaiheen tehtävät, jotka liittyvät tuotteen suunnitteluun ja valmistamiseen. Tuotteisiin liitetään yhä enemmän huolto- ja muita palveluita, joten palveluliiketoiminnan kehittyessä kiinnostus tuotteen käyttövaiheen suunnitteluun lisääntyy. Esimerkiksi Stark (2011, p.17) jakaa elinkaaren valmistajan näkökulmasta viiteen vaiheeseen tai tehtävään:

- kuvittele (*imagine*)
- määrittele (*define*)
- toteuta (*realise*)
- käytä ja ylläpidä (*support/service*)
- poista käytöstä (*retire*)

Starkin esittämässä mallissa tuotteen elinjakso siis alkaa siitä, kun idea tai mielikuva tuotteesta syntyy. Seuraava vaihe on tuotteen määrittely, jonka jälkeen tuote voidaan toteuttaa. Toteutuksesta siirrytään käyttöön ja tuotteen suorituskyvyn ylläpitoon. Tuotteen elinjakso päättyy käytöstä poistamiseen ja romuttamiseen. Kirjallisuudessa usein siteerattu Blanchard ja Fabrycky (2000, p. 19) käsittelevät tuotteen elinjakson vaiheita vastaavalla tavalla, mutta heidän mallissaan määrittelyvaihe jakautuu alustavaan suunnitteluun ja varsinaiseen suunnitteluvaiheeseen.

Elinjakson hallinnan ideoinnin ja kehittämisen sekä yritysten tuotekehitysprosessin vaiheet nivoutuvat osittain yhteen. Tuotekehitys on prosessi, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai parannettu tuote asiakkaan tarpeisiin. Geneerisen elinjaksohallinnan elinjakson hallinnan tehtävät löytyvät myös tuotekehitysprosessin kuvauksista. Tuotekehitysprosessin lähtökohtana ovat käyttäjän tai asiakkaan tarpeet ja tuotteelle asettamat vaatimukset, ja tuotekehitysprosessin aikana näiden vaatimusten pohjalta määrittyvät tuotteen ominaisuudet. Suunnittelun ja valmistuksen kautta ominaisuudet pyritään sisällyttämään valmiiseen tuotteeseen.

Tuotekehitysmallit jakavat tuotekehityksen toiminnallisiin vaiheisiin. Tunnetuimpia ja käytetyimpiä malleja ovat Saksassa kehitetty suunnitteluohje VDI 2221 sekä Ulrichin ja Eppingerin tuotekehitysprosessi, joka käsittelee tuotteen elinkaarta lähinnä kuluttajatuotteiden suunnittelun ja kehittämisen näkökulmasta. Ulrichin ja Eppingerin mallissa (2004, p.9) elinkaaren hallinta jakautuu kuuteen vaiheeseen:

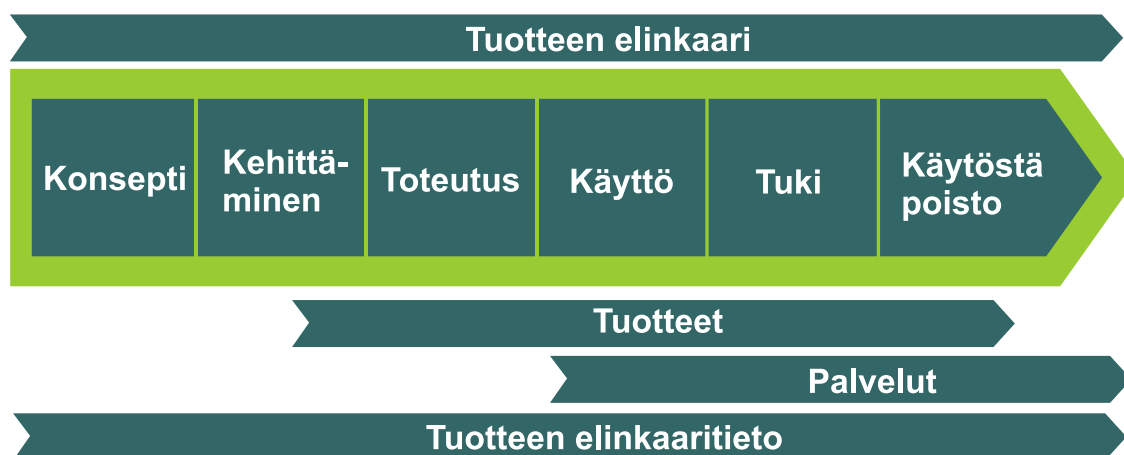
1. tuote-/tuoteohjelman suunnittelu,
2. konseptin kehitys,
3. järjestelmätason suunnittelu,
4. yksityiskohtainen suunnittelu,
5. testaus ja viimeistely, sekä
6. tuotannon käynnistäminen.

Tuoteohjelman suunnittelu on prosessi, jossa päätetään kehitettävä tuoteportfolio ja sen markkinoille saattamisen ajoitus. Vaiheen yhtenä tärkeänä tehtävänä on myös asettaa kehitettävän portfolion liiketoimintatavoitteet, jotka liittyvät esimerkiksi tuotteiden markkinoille saattamisen ajoitukseen, niiden kustannusrakenteeseen ja laatuavoitteisiin.

Koneenrakennuksen tarpeista syntynyttä VDI 2221 mallia kutsutaan teknisten järjestelmien ja tuotteiden systemaattiseksi kehitys- ja suunnittelumalliksi. Tässä mallissa määritellään suunnitteluprosessi, mutta ei oteta kantaa esimerkiksi asiakasrajapintaan ja liiketoimintaan. Mallin muodostaa seitsemänportainen työnkulku (VDI 2221, 1993): tehtävänasettelun täsmennys, toimintojen ja niiden rakenteiden selvittäminen, ratkaisuperiaatteiden ja niiden rakenteiden etsintä, jäsentely toteutuskelpoisiin moduuleihin, mittoja määrittävien moduulien rakennemuotoilu, tuotekokonaisuuden rakennemuotoilu sekä valmistus- ja käyttöohjeiden laadinta.

### ***Tuotetiedon hallinta***

Tuotteen elinjakson tai elinkaaren hallintaan (*Product Lifecycle Management, PLM*) liittyy läheisesti myös tuotetiedon hallinta (*Product Lifecycle Data Management, PDM*) sekä siihen käytetyt tietojärjestelmät. Kuva 1.6 kokoaa yhteen tuotteen elinkaaren ja tuotetiedon hallinnan käsitteet sekä tuotteen ja niihin liittyvien palveluiden elinjakson vaiheet.



Kuva 1.6. Esimerkki tuotteen ja siihen liitettyjen palveluiden elinkaaren ja tuotetiedon hallinnasta (muokattu lähteestä Ponsi, 2006)

PLM ratkaisujen ja sovellusten historiallinen tausta nähdään yleensä olevan sarjatuotannon konfiguroituvissa tuotteissa (esimerkiksi autonvalmistus), mekaniikan detaljisuunnittelussa ja tuoterakenteiden hallinnassa. PLM on tavallaan kasvanut tuote- ja suunnittelutiedon hallinnasta kohti elinkaaren loppupäätä. PDM ja PLM on tyypillisesti ollut tunnettua ja käytetty lähinnä tuotekehitys- ja suunnitteluorganisaatioissa. Vahva trendi on laajentaa PLM:n kattavuutta myös toiseen suuntaan mekaniikasta ja osarakenteesta kohti monitekniikkaa ja abstraktia systeemikuvausta, toimintorakenteita, konseptisuunnittelua ja vaatimushallintaa. Perinteisen PDM-järjestelmien eli PLM:n tiedonhallinnan selkärangan vahvuus on liittynyt fyysisen komponenttirakenteen (tuoterakenne) ja nimikkeiden hallintaan. Useat PDM/PLM-toimittajat ovat jo tuoneet markkinoille tuotteita, joissa tukea em. asioille löytyy. (Granholm, 2013)

## Elinjakso - tuotantojärjestelmän ja käyttäjän näkökulma

Geneerisen elinjakso mallissa nimetyt elinjakson vaiheet ja keskeisten tehtävien kuvaukset sisältävät myös tuotantolaitteen omistajan näkökulmat. Tuotteen käyttäjän tai omistajan (*asset owner*) tehtävät painottuvat hankintavaiheeseen ja jo olemassa olevien tuotantolaitteiden hyödyntämiseen ja ylläpitoon.

### Hankintavaihe

Hankintaprosessi voi saada hyvin monenlaisia muotoja, jossa tilaajan rooli vaihtelee. Hankinta voi kohdistua helposti saatavilla olevaan tuotteeseen (esim. *Commercially-Off-The-Shelf*, COTS), johon ei tehdä muutoksia tai asiakaskohtaista räätälöintiä. Jossain tapauksissa voidaan kuitenkin tarvita tuotteen käyttöönottoon tai implementointiin liittyvää suunnittelua tai hankittava järjestelmä rakennetaan kaupallisesti saatavilla olevista komponenteista tai tuotteista, mutta järjestelmätason suunnittelu tehdään käyttökohteen vaatimusten mukaisesti. Hankintaan liittyvien vaatimusten täyttäminen voi myös edellyttää teknologian kehittämistä sekä tuotekehitystä ja tutkimusta, ja tällöin hankinta edellyttää pitkälle menevää yhteistyötä tilaajan, toimittajan ja muiden sidosryhmien välillä. Tällöin loppukäyttäjä osallistuu merkittävällä panoksella vaatimusmäärittelyyn. Hankintaprosessi heijastelee myös hankittavan järjestelmän monimutkaisuutta, ja logistisen tuen saatavuuteen liittyviä kysymyksiä.

Fyysisen tuotteen ostamisen sijaan halutut toiminnallisuudet voidaan hankkia käyttöön muillakin tavoin. Hankintaprosessi voi siis kohdistua myös palveluun ilman fyysistä tuotetta. Palveluliiketoiminnan malleja ovat esimerkiksi suoriteperusteinen sopimus toimittajan kanssa tai laitteen vuokraus (*leasing*). Näissä malleissa tuotteen omistusoikeus, elinjakson hallinnan vastuu ja riskit jäävät toimittajan tai palveluntarjoajan kannettavaksi, ja heijastuvat siten palvelun hintaan. Palvelun tuottaja pyrkii hinnoitteluun, joka mahdollistaa kannattavan liiketoiminnan. Tilaaja puolestaan pyrkii ennakoimaan kustannuksia ja estämään niiden hallitsemattoman nousun. Eräs esimerkki palvelusopimusten malleista ja mallien vaikutuksista on esitetty alla (Taulukko 1.1).



Taulukko 1.1. Esimerkki palveluhankinnan sopimusmalleista (Jokinen, 2011)

Vaihtoehto		Päätelmä
Kattava palvelupaketti (All included)	1	Johtaa helposti liian suureen palvelumaksuun, jolla tuottaja pyrkii kattamaan riskit.
Tasavertaiset kumppanit (Equal play)	2	Määritellään sopimukseen kuuluvat varaosat/työt ja rajataan pois esim. kalleimmat varaosat. Palvelumaksun hinnoittelu on tuottajan kannalta helpompi määritellä – osa riskistä siirtyy tilaajalle.
Määritellyt palvelut (Open case)	3	Sopimukseen kuuluu tiettyjä perustoimintoja (esim. määräaikaishuollot), mutta suuret huollot ja varaosat laskutetaan erikseen. Tämä malli on tuottajan kannalta lähes riskivapaa, mutta tilaajan on vaikeaa budjetoida vuosikustannuksia.
Avoimet kirjat (Open books)	4	Käytetään mallia 1. tai 2. Tuottaja esittää esim. 12 kk välein tilaajalle elinkaaripalvelun tuloslaskelman. Mikäli tulos on yhteisesti sovitussa raameissa, palvelu jatkuu entisellä hinnalla. Mikäli tulos on liian pieni tai suuri korjataan seuraavan vuoden palvelumaksua vastaavasti.

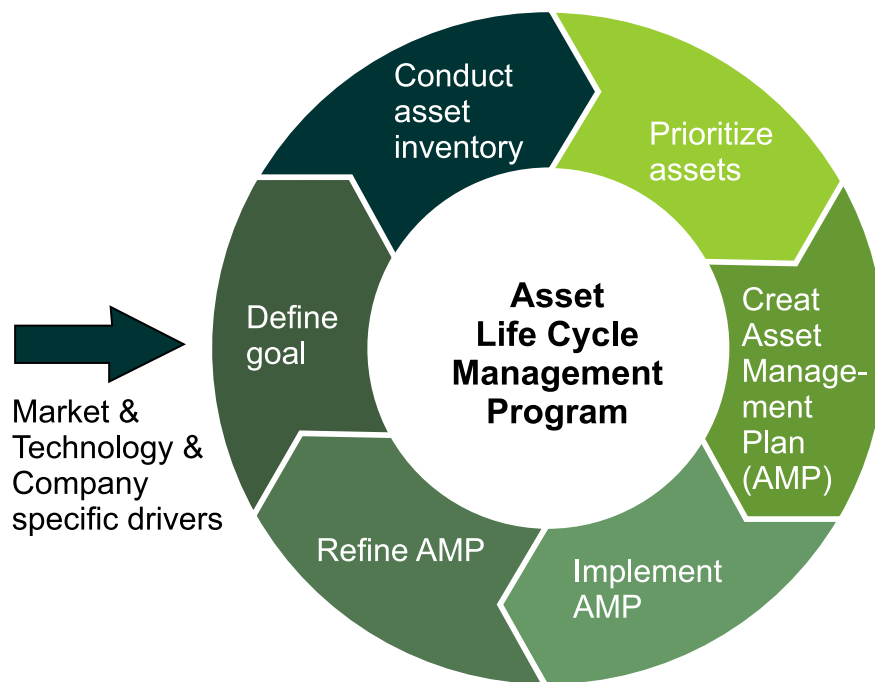
Tuotteen koko elinjakson kestävä palvelusopimus ja kattava palvelupaketti yksinkertaistavat tilaajan kustannusten hallintaa. Toimittajan osalta pitkän ajanjakson palvelusopimuksen hinnoittelu on vaikeaa ja riskien toteutumiseen varautuminen on haasteellista. Vastaavasti määrämuotoinen palvelu, jota yllä olevan taulukon (Taulukko 1.1) kolmas vaihtoehto kuvaa, siirtää riskin yllätyksistä tilaajan kannettavaksi. Sopimuksissa voidaan myös pyrkiä riskien jakamiseen (tasavertaiset kumppanit, avoimet kirjat). Riskien hallintaan palataan kappaleessa 1.6.

### Käyttö- ja ylläpitovaihe

Joidenkin järjestelmien kohdalla kunnossapidon kustannustehokas järjestäminen voi asettaa erityisiä haasteita. Logistiikan toimivuus nousee keskiöön silloin, kun tuotantojärjestelmä on maantieteellisesti hyvin hajautettu tai vaikeasti saavutettavissa (esim. merituulivoimalat). Järjestelmät voivat myös muodostaa liikkuvan laivueen (*fleet*), kuten esimerkiksi kuljetusyritysten kalusto, tai kunnossapitotoiminnassa hyödynnetään valmistajan tai muun palveluntarjoajan mahdollisesti hyvinkin kaukana sijaitsevia toimitiloja. Logistiikan merkitystä korostaa Hastingsin (2015, s.12) kuvaama liiketoimintalähtöinen elinjaksomalli. Hastings jakaa hankittavan tuotteen tai järjestelmän elinjakson kuuteen vaiheeseen tai tehtävään:

- liiketoiminnan vaatimusten tai mahdollisuuksien tunnistaminen
- hankintaa edeltävät tarkastelut (*pre-acquisition analysis*) - sekä teknisten että taloudellisten tekijöiden analyysit ja vaihtoehtojen toteutuskelpoisuuden (*feasibility*) arviointi ja ratkaisun valinta
- hankinta (*acquisition*) - vaihe käsittää myös implementoinnin toimintoihin
- logistiikkatuki (*logistic support provision, Integrated Logistics Support, ILS*), johon kuuluu mm. kunnossapidon järjestäminen ja varaosien hankinta
- käyttö ja kunnossapito
- käytöstä poisto

Elinjakson hallintasuunnitelma on omaisuudenhallinnan (*asset management*) työkalu (Hastings, 2015). Suunnitelmaa muodostettaessa tunnistetaan kunkin kohteen suorituskyvyn ylläpidon edellyttämät kunnossapitotehtävät ja tulevien vuosien kehittämistarpeet sekä tähän vaadittavat resurssit. Tämä lisäksi arvioidaan mahdollinen käyttöikä ja määritellään käytöstä poistoon liittyviä tehtäviä. Elinjaksosuunnitelmat (*asset life cycle management plan, ALMP* tai *asset management plan, AMP*) tarjoavat siten lähtökohdan kunnossapidon resurssien ja korvaus- ja kehitysinvestointien pidemmän aikajänteen suunnitteluun. Elinjakson hallinnan suunnitelmat muuttuvat yrityksen tavoitteiden muuttuessa ja monien ulkoisten ja sisäisten tekijöiden paineessa, joten suunnitelmia on säännöllisesti myös päivitettävä. Teknologian kehittyessä markkinoille tulee jatkuvasti uusia ratkaisuja, joiden käyttöönoton mahdollisia hyötyjä yritysten on punnittava.



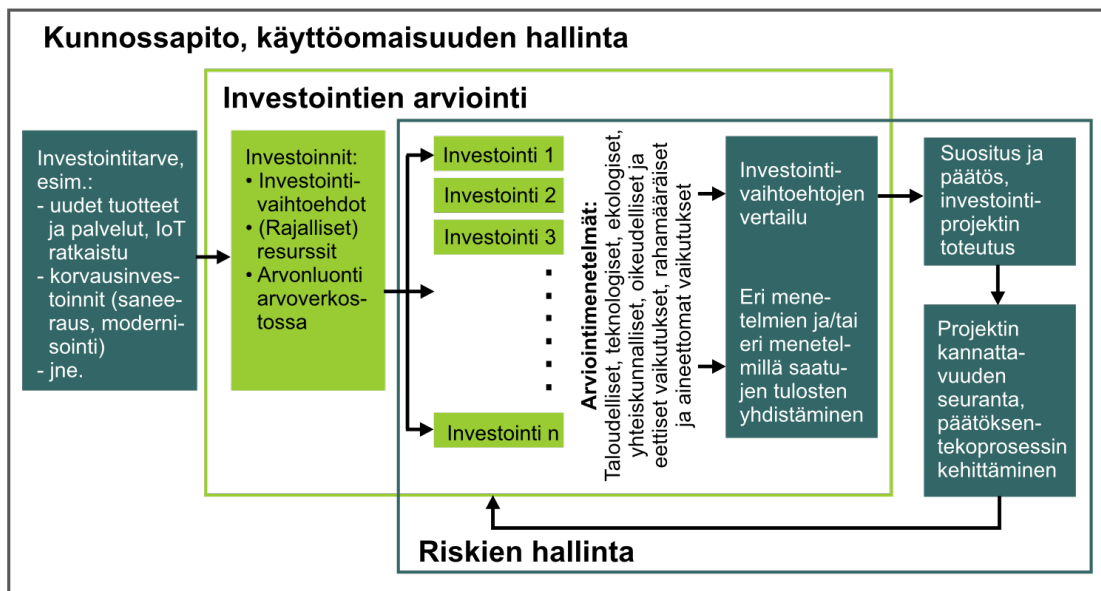
Kuva 1.7. Järjestelmän elinjakson hallinta on jatkuvaa toimintaa (Kortelainen ym., 2020)

Tuotantojärjestelmän lukuisten kohteiden elinjakson hallinnan suunnitelmien toteutuksessa tulisi ottaa huomioon suunnitelmien yhdenmukaistaminen eri organisaatioyksiköillä ja tasoilla, muutosten hallinta, johtajuus ja kulttuuri (SFS-ISO 55002). Suunnitelman olennaisia osia ovat myös palautteen kerääminen, tulosten arviointi ja suunnitelmien parantaminen. Elinjakson hallinta ja suunnittelu (Kuva 1.7) onkin jatkuvan parantamisen filosofian mukaisesti jatkuvaa toimintaa.

Tuotantolaitteiden elinjakson hallinta on tärkeä osa omaisuuden hallinnan kokonaisuutta (*asset management*). Omaisuuden hallintaa käsittelee tämän kirjan Osa 2.

### ***Suorituskyvyn parantaminen ja investoinnit***

Tuotantojärjestelmien suorituskyvyn ylläpito ja kehittäminen edellyttävät myös investointeja uusiin laitteisiin ja osaamiseen sekä kunnossapidon ja toimintatapojen kehittämiseen. Usein tässä yhteydessä käytetään termiä CAPEX (*capital expenses*), jolla siis käsittää yhtiön investoinnit, joilla pyritään nykyaikaistamaan olemassa olevaa tuotanto-omaisuutta (kiinteistö, koneet, laitteet) tai hankkimaan uusia. Käyttökustannukset (*operating expenses, OPEX*) puolestaan muodostuvat yrityksen jatkuvista kustannuksista kuten palkoista, raaka-aineista ja käyttöhyödykkeistä. CAPEX-investointien avulla voidaan tavoitella suurempaa tuotantomäärää, laadun kehittämistä, parempaa kokonaistehokkuutta, ympäristön suojelua, tai investoinnit ovat välttämättömiä lainsäädännön ja määräysten muuttuessa. Investointien (CAPEX) avulla voidaan myös pyrkiä käyttökustannusten (OPEX) pienentämiseen, jolloin esimerkiksi paljon kunnossapitoa ja ihmisten työtunteja vaativa kone tai laite korvataan kokonaan uudella. Taloudellisen kannattavuuden lisäksi investointipäätöksissä korostuu laaja joukko muita näkökulmia, kuten teknologiset, ekologiset, yhteiskunnalliset, oikeudelliset ja eettiset ulottuvuudet, joiden rahallinen arvottaminen ei ole yksiselitteistä. Tämä edellyttää laaja-alaista investointien arviointia, jota havainnollistaa kuvan (Kuva 1.8) viitekehys.



Kuva 1.8. Laaja-alainen lähestymistapa kunnossapitoinvestointien arviointiin (Räikkönen ym., 2019)

Investointipäätöksenteon tueksi on olemassa useita rationaalisia ja analyyttisiä investointilaskenta- ja riskianalyysimenetelmiä, joiden selkeä pääpaino on reaali-investointien arvioinnissa. Tunnettuja menetelmiä ovat esimerkiksi nykyarvo-, annuiteetti-, takaisinmaksuajan-, pääoman tuottoasteen ja sisäisen korkokannan menetelmä. Elinjaksokustannus- ja elinjaksotuottolaskelmat painottavat tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten kustannusten ja tuottojen arviointia (ks. tarkemmin luku 1.5). Investoinneilla saavutettavia hyötyjä voidaan arvioida myös joko kustannus-hyöty tai kustannus-vaikuttavuusanalyysin avulla. Tällöin kustannukset muutetaan rahaksi, mutta vaikutuksia voidaan kuvata ja määritellä myös muilla tavoilla. Riskien ja epävarmuuden hallinta on investointihankkeen onnistumisen olennainen osatekijä prosessin kaikissa vaiheissa.

## Sidosryhmien yhteistyö ja vuorovaikutus elinjakson hallinnan vaiheissa

Monimutkaisten (*complicated*), rääteltyjen järjestelmien ja laitteiden suunnittelu edellyttää sidosryhmien välistä yhteistyötä. Kompleksinen järjestelmä (*complex*) ei koostu pelkästään koneista ja laitteista, vaan järjestelmän osia ovat myös ohjelmistot, tieto, ihmiset, prosessit, käytännöt, infrastruktuuri ja materiaalit. Teknisen järjestelmän monimutkaisuus johtuu suuresta määrästä ennalta määrätysti vuorovaikutteisesti toimivia komponentteja, mutta kompleksisessa järjestelmässä on mukana joukko itsenäisiä toimijoita (Amaral & Uzzi, 2007). Samalla syntyy tarve muodostaa yhtenäistä käsitteistöä, jonka avulla eri sidosryhmien kanssa voidaan kommunikoida paremmin. Tuotekehitys ja -suunnittelu ovat nykypäivänä usein hyvin verkostoitunutta ja hajautunutta toimintaa. Tuotekehitystiimit koostuvat eri koulutuksen ja taustan omaavista, eri paikkakunnilla ja organisaatioissa työskentelevistä ihmisistä.

Järjestelmätekniikan (*Systems Engineering, SE*) avulla pyritään hallitsemaan kompleksisten järjestelmien suunnittelu ja toteutus siten, että järjestelmälle asetettavien vaatimusten täyttyminen loppu-tuotteessa varmistetaan. Suunnittelussa huomioidaan kaikkien elinkaaren vaiheiden vaikutukset ja sidosryhmien näkökulmat. Vaatimustenhallinnan korostaminen ja järjestelmän pilkkominen hallittavampiin osajärjestelmiin on keskeisiä lähestymistapoja. Useista järjestelmätekniikan standardeista ISO/IEC 15288 (2015) on yleispätevin ja kattaa laajimmin koko elinkaaren. ISO/IEC 15288 (2015) noudattelee yleistä elinjaksomallin viitekehystä (Kuva 1.2) ja tehtäviä, mutta määrittelee lisäksi joukon elinjaksoprosesseja:

- sopimusprosessit (*agreement processes*)
- organisaation tukiprosessit (*organizational project-enabling processes*)
- projektiprosessit (*project processes*)
- tekniset prosessit (*technical processes*)

Näillä neljällä pääprosessilla on kaikilla omia aliprosessejaan (ks. Taulukko 1.2). Kullekin prosessille ja aliprosessille on määritelty prosessin tarkoitus, toiminnot, tukitoiminnot ja tuotokset, jotka prosessin onnistunut toteutus tuottaa. Näin varmistetaan, että siirtymä prosessin vaiheesta toiseen on seurattavissa ja mitattavissa.

Taulukko 1.2. Järjestelmän elinjakson hallinnan prosessit (modifioitu lähteestä Granholm, 2013 ja ISO/IEC 15288)

Sopimus-prosessit	Organisatoriset tukiprosessit	Projektiprosessit	Tekniset prosessit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hankinta</li> <li>• Toimitus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elinjaksomallin hallinta</li> <li>• Infrastruktuurin hallinta</li> <li>• Projektiportfolion hallinta</li> <li>• Henkilöstöhallinta</li> <li>• Laadunhallinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektisuunnittelu</li> <li>• Projektin arvioinnin ja johtamisen hallinta</li> <li>• Päätöksenteon hallinta</li> <li>• Riskienhallinta</li> <li>• Konfiguroinnin hallinta</li> <li>• Informaationhallinta</li> <li>• Mittaamisen hallinta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sidosryhmävaatimustenmäärittäminen</li> <li>• Vaatimusanalyysi</li> <li>• Arkkitehtuurisuunnittelu</li> <li>• Toteutus</li> <li>• Integrointi</li> <li>• Todennus</li> <li>• Kohteeseen siirto</li> <li>• Kelpuutus</li> <li>• Käyttö</li> <li>• Kunnossapito</li> <li>• Käytöstä poisto</li> </ul>

Verkostoituneessa toimintaympäristössä tuotteen elinkaari prosessit ulottuvat organisaatorajojen yli. Käyttövaiheen aikana järjestelmien käyttöön ja kunnossapitoon voi osallistua lukuisia, ajan myötä vaihtuvia organisaatioita. Palvelujen ja muiden aineettomien tekijöiden sekä dynaamisten prosessien ja organisaatioiden näkökulma tekee lähes kaikista tuotteista ja järjestelmistä kompleksisia. Yhteistyö järjestelmän elinjakson eri vaiheissa on siten usein tiivistä, ja sidosryhmien välistä yhteistyötä tarvitaan erityisesti silloin, kun otetaan käyttöön uutta teknologiaa tai toimintatapoja.

## Elinjakso- tai elinkaarimallin valinta

Elinkaariarviointi (*Life Cycle Assessment, LCA*) on menetelmä tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten analysointiin ja arviointiin. Täydellinen elinkaari ja elinkaarimalli käsittävät materiaalien hankinnan luonnosta, niiden prosessoinnin ja kuljetuksen sekä tuotteen valmistuksen, jakelun, käytön, uudelleenkäytön, huollon, kierrätyksen ja hylkäämisen. Tuloksia ei esitetä ajan funktiona tai kiinnitetä aikadimensioon. Elinjaksokustannusten (*Life Cycle Cost, LCC*) tarkastelun pohjana käytettävä elinjaksomalli on yleensä aikaan sidottu malli (Kuva 1.2), joka tarkastelee tuotteen elinkaaren vaiheita konseptista tuotteen käytöstä poistoon. Elinkaariarvioinnin pohjaksi tarvittava elinkaarimalli ja teknisten järjestelmien suunnittelun ja käytön optimoinnin pohjaksi laadittavat elinjaksomallit siis poikkeavat toisistaan (Räikkönen ym., 2019)

Myös elinjaksomalli voi olla tarkkuustasoltaan erilainen tai painottua tiettyihin elinjakson vaiheisiin. Esimerkiksi toimitusprojektien käyttövarmuuden hallintaa rautatieympäristössä käsittelevä standardi EN-50126 (2017) määrittelee viisi kysymystä, joihin käyttövarmuuden ja turvallisuuden hallinta perustuu:

- Mikä on kohteelle soveltuva elinjaksomalli?
- Mitkä ovat vaaditut käyttövarmuuden hallinnan tehtävät tuotteen elinkaaren eri vaiheissa?
- Ketkä ovat vastuussa käyttövarmuuden hallinnan tehtävien toteuttamisesta?
- Mitkä ovat näiden tehtävien toteuttamiseen tarvittavat ohjeet, työkalut ja referenssidokumentit?
- Kuinka käyttövarmuuden hallinnan toimet implementoidaan osaksi yrityksen toimintaprosesseja?

Elinjaksomallin valinta on siis pragmaattinen ratkaisu, joka perustuu käytännön tarpeisiin.

## Keskeiset opit

- Kaikilla tuotteilla ja järjestelmillä on elinjakso ja elinkaari. Elinjaksomalli on tapa kuvata tämä ajanjakso erilaisten vaiheiden avulla. Elinkaarimalli liittyy käsitteenä joko tuotteen elinjakson vaiheisiin kaupallisessa mielessä tai ympäristönäkökulmiin ja kestävään kehitykseen.
- Tuotteen valmistajan näkökulmasta katsottuna korostuvat tuotteen kehittämiseen, suunnitteluun ja valmistamiseen liittyvät tehtävät sekä tuotetiedon hallinta koko elinkaaren yli kattaen myös tuotteeseen liittyvät palvelut.
- Tuotteen käyttäjän tai omistajan tehtävät painottuvat hankintavaiheen määrittelyyn ja vaatimusten asettamiseen, sekä jo olemassa olevien tuotantolaitteiden käyttöön ja kunnossapitoon sekä suorituskyvyn parantamiseen.
- Monimutkaisten ja laajojen järjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa erityisen tärkeää on vaatimusten hallinta ja kaikkien sidosryhmien näkökulmien huomioiminen vaatimusten asettamisessa ja niiden toteutumisen arvioinnissa.

# 1.3

## TURVALLISUUDEN HALLINTA ELINJAKSON ERI VAIHEISSA

*Eetu Heikkilä ja Risto Tiusanen*

### Johdanto

Turvallisuus tarkoittaa yleisesti ottaen vaarojen ja uhkien (riskin) poissaoloa, kuin myös psykologista kokemusta niiden poissaolosta. Turvallisuus esiintyy ilmiönä kaikkialla, missä esiintyy jonkinlaista vaaraa. Maailman monimutkaistuessa myös turvallisuus saa uusia piirteitä. Täydellisen turvallisuuden saavuttaminen on absoluuttisesti mahdotonta, joten turvallisuus on aina suhteellinen määre. Turvallisuutta uhkaavaa tekijää (vaaraa) ei pystytä useinkaan poistamaan kokonaan, kyse on uhan vähentämisestä, riskin pienentämisestä ja paljonko siihen halutaan panostaa. Tämä pätee erityisesti niissä toiminnoissa ja tilanteissa, joissa ihminen ja tekniikka ovat vuorovaikutuksessa<sup>4</sup>.

Teollisuuden toimintaympäristössä - työpaikoilla, jossa ollaan vuorovaikutuksessa teollisten järjestelmien, koneiden ja laitteiden kanssa, turvallisuuden käsitettä on määritelty monin eri tavoin. Leveson (2012) määrittelee turvallisuuden onnettomuuksien välttämisen kautta (*absence of accidents*). Tässä yhteydessä onnettomuudella tarkoitetaan laajasti mitä tahansa ennakoimatonta menetystä, joka ei ole hyväksyttävissä. Turvallisuus on määritelty myös vapaudeksi olosuhteista, jotka voivat aiheuttaa kuoleman, tapaturman tai omaisuus- tai ympäristövahingon (MIL-STD-882E, 2012).

### Uusien koneiden turvallisuus on valmistajan vastuulla

Uusien teollisuuskoneiden ja laitteiden turvallisuuden hallinnan perustana on laitevalmistajan turvallisuuspolitiikka ja siinä asetetut turvallisuustavoitteet sekä voimassaolevat lait ja asetukset, joissa asetetaan vähimmäisvaatimukset teollisuudessa käytettävien koneiden ja laitteiden turvallisuudelle. Turvallisuusvaatimukset eri maissa ja eri yrityksillä ovat aikaisemmin olleet erilaisia ja niitä on valvottu kansallisten periaatteiden mukaan. Kansainvälisen yhteistyön ja eri standardointijärjestöjen avulla on pystytty yhdenmukaistamaan turvallisuusvaatimuksia, parantamaan teollisten järjestelmien turvallisuutta ja poistamaan kansainvälisen kaupan esteitä. EU:n talousalueella erityisesti konedirektiivin (Directive 2006/42/EC, 2006) myönteinen vaikutus turvallisuuden varmistamisessa on ollut merkittävää. Konedirektiivi määrittelee valmistajan toimintaa koskevia vaatimuksia sekä koneiden ja konejärjestelmien yleiset turvallisuusvaatimukset.

Suomen lainsäädännössä koneiden turvallisuutta koskevat velvoitteet lähtevät konelaista (2004). Se on suunnattu antamaan ohjeita koneiden ja muiden työssä käytettävien laitteiden valmistajille, myyjille ja muille toimijoille, jotka ovat mukana koneiden toimittamisessa käyttöön tai Suomen markkinoille. Konelaki velvoittaa kyseisten koneiden sekä laitteiden ja tarvikkeiden, olevan turvallisia ja määräysten mukaisesti valmistettuja. EU:n talousalueen konedirektiiviä vastaa Suomessa koneasetus (VnA 400/2008), joka tuli voimaan 29.12.2009. Koneasetuksen tarkoitus on täsmentää konelaisissa esitettyjä vaatimuksia. Koneasetuksen vaatimuksia puolestaan täydentävät ja tarkentavat eurooppalaisen yhdenmukaistetut ja velvoittavat turvallisuusstandardit (Metsta, 2016; Siirilä & Tyykoski, 2016). Standardeja on kehitetty vastaamaan sekä yleisiin kaikkia teollisuuden toimialojen

---

<sup>4</sup> <https://fi.wikipedia.org/wiki/Turvallisuus>



koskeviin turvallisuusvaatimuksiin, että tiettyjä koneita tai niiden turvajärjestelmiä koskeviin vaatimuksiin.

## Turvallisuuden suunnittelu

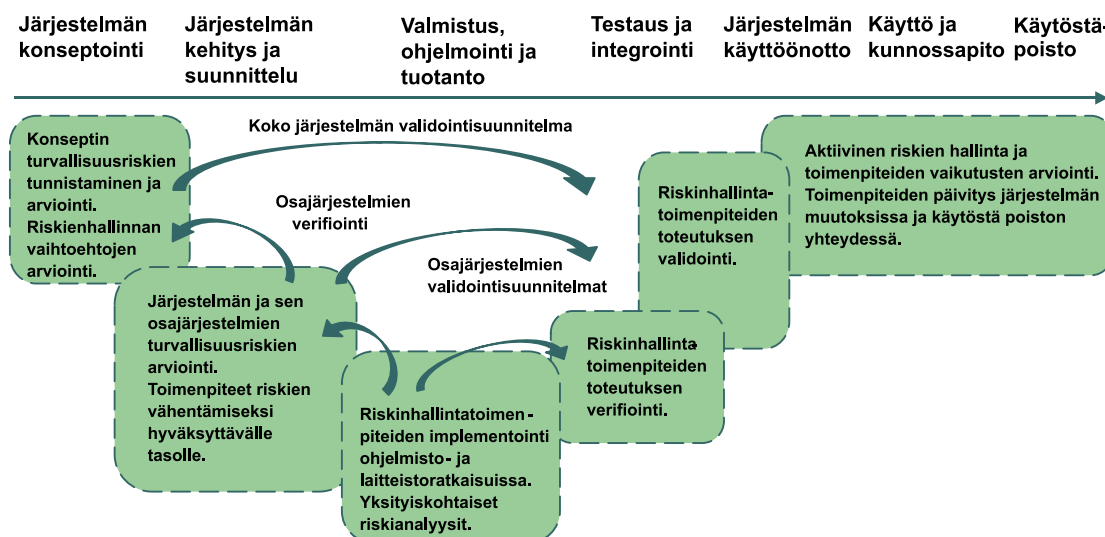
Turvallisuus tulee siis huomioida järjestelmän elinkaaren eri vaiheissa eri toimijoiden toimesta käyttäen kulloinkin tarkoitukseen sopivia menetelmiä ja menettelytapoja. Turvallisuuksuunnittelun näkökulmasta keskeisiä toimenpiteitä ovat koneisiin tai järjestelmään liittyvien turvallisuusriskien tunnistaminen, arviointi ja hallinta. Turvallisuuksuunnittelua ei pidä ajatella muusta järjestelmäsuunnittelusta erillisenä prosessina, vaan perustavoitteena tulisi olla, että järjestelmä suunnitellaan alusta alkaen turvallisuus huomioiden (Leveson, 2012). Tällöin turvallisuuteen liittyvät ongelmat voidaan havaita mahdollisimman varhaisessa vaiheessa ja välttyä työläiltä ja kalliilta korjaus- ja muutostyötoimenpiteiltä elinkaaren myöhemmissä vaiheissa.

Teollisuuden koneet toimivat yhä useammin jatkuvatoimisina koneyhdistelminä ja tuotantoprosesseina. Näiden yhä laajempien ja monimutkaisempien järjestelmien suunnitteluun ja turvallisuuden varmistamiseen tarvitaan aikaisempaa kehittyneempiä turvallisuuden suunnittelun, analysoinnin ja todentamisen menetelmiä.

Koska täydellistä turvallisuutta ei ole saavutettavissa, eikä kaikkia vaaroja kyetä käytännössä eliminomaan, joudutaan turvallisuusanalyseissa määrittelemään hyväksyttävä riskitaso ja arvioimaan tunnistettujen riskien suuruutta. Perinteisesti turvallisuusriskin käsite määritellään vaarallisen tapahtuman todennäköisyyden ja seurausten vakavuuden kautta. Minimivaatimusten täyttämisen lisäksi turvallisuuteen liittyen pyritään toteuttamaan periaatetta, jossa riskitaso pyritään saamaan niin alhaiseksi, kuin perustelluilla toimenpiteillä on mahdollista (*As Low As Reasonably Practicable, ALARP*).

## Turvallisuuksuunnittelun menetelmät elinkaaren eri vaiheisiin

Käytännössä turvallisuusriskien arviointiin ja suunnittelun tukemiseen on lukuisia menetelmiä, joiden soveltuvuus riippuu muun muassa järjestelmän laajuudesta ja sen käyttökohteesta. Lisäksi on huomioitava, että yksittäinen menetelmä ei yleensä riitä kattamaan järjestelmän koko elinkaarta (Tiusanen, 2014). Seuraavassa on esitetty riskien arviointiin liittyviä keskeisiä tehtäviä (Kuva 1.9) sekä kuvattu muutamia yleisimpiä menetelmiä elinkaaren eri vaiheisiin.



Kuva 1.9. Turvallisuusriskien tunnistamiseen, arviointiin ja hallintaan liittyviä tehtäviä järjestelmän elinkaaren eri vaiheissa. Muokattu alkuperäisestä Tiusanen (2014)

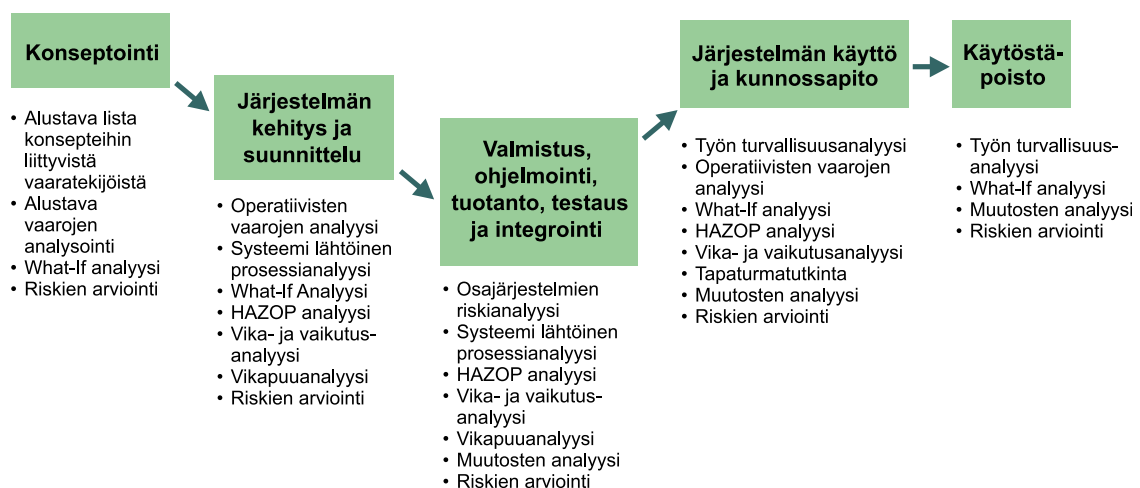
Turvallisuus tulee huomioida heti järjestelmän määrittelystä ja konseptisuunnittelun varhaisista vaiheista lähtien. Erityisesti vaatimusten hallinnan rooli korostuu, sillä suuri osa onnettomuuksien juurisyistä on johdettavissa puutteelliseen vaatimusten määrittelyyn. Konseptointivaiheessa järjestelmän toteutus ei ole vielä tarkasti tiedossa, minkä vuoksi tyypillisesti käytetään erilaisia yleisen tason

ideointimenetelmiä, joilla pyritään tunnistamaan potentiaalisia riskejä ja ongelmia järjestelmäkonaisuuden toiminnassa. Usein on myös tarpeen vertailla erilaisia vaihtoehtoisia konsepteja keskenään. Tyypillisiä menetelmiä ovat:

- Alustava vaara-analyysi (*Preliminary Hazard Analysis, PHA*) keskittyy tunnistamaan järjestelmäkonseptin alustavia riskejä sekä potentiaalisia riskienhallintakeinoja. Uusia tuotteita kehitettäessä apuna voidaan käyttää tietoja aiemmista vastaavan kaltaisista järjestelmistä.
- Potentiaalisten ongelmien analyysi (POA) on aivoriihimenetelmä, jossa avainsanojen avulla tunnistetaan ja arvioidaan järjestelmän riskejä ja toimenpidetarpeita.

Suunnittelun edetessä siirrytään käyttämään tarkempia riskianalyyssimenetelmiä. Tässä vaiheessa on tyypillisesti tarpeen arvioida sekä osajärjestelmien että komponenttitason riskejä. Tähän liittyy tarve arvioida riskien suuruutta sekä priorisoida riskienhallinnan toimenpiteitä. Yleisesti käytettyjä menetelmiä ovat:

- Operatiivisten vaarojen analyysi (*Operating Hazard Analysis, OHA*, joissakin yhteyksissä myös *Operating and Support Hazard Analysis, O&SHA*) keskittyy järjestelmän käyttöön ja huoltoon liittyviin turvallisuusriskeihin sekä erilaisiin poikkeustilanteisiin. Erityisesti ihmisen rooli ja tehtävät järjestelmän operoinnissa korostuvat. (Rausand, 2011).
- Vika- ja vaikutusanalyysi (*Failure Mode and Effects Analysis, FMEA*) (IEC 60812, 2018) on induktiivinen menetelmä, joka pyrkii tunnistamaan järjestelmän toimintojen tai komponenttien vikaantumisen vaikutuksia. Analyysiä voidaan tehdä tarpeen mukaan toiminto- tai komponenttitasolla. Menetelmästä on useita eri variaatioita, jotka laajentavat sen käyttömahdollisuuksia (esim. FMECA; jossa on lisäksi mukana vikojen kriittisyysarviointi, tai FMEDA, joka korostaa diagnostiikkaa ja vikojen havaittavuutta).
- Vikapuuanalyysi (*Fault Tree Analysis, FTA*) (IEC 61025, 2006) on deduktiivinen graafinen menetelmä, jossa keskitytään tunnistamaan syytekijäketjuja, jotka voivat johtaa järjestelmän vikaantumiseen. Aluksi määritellään onnettomuus, vikaantuminen tai muu ei-toivottu tilanne (vikapuun huipputapahtuma), minkä jälkeen puurakenteella kuvataan, millainen vikaantumisten ketju voi aiheuttaa huipputapahtuman. Vikapuuta käytetään usein kvantitatiiviseen analyysiin.
- Poikkeamatarkastelu (*Hazard and Operability study, HAZOP*) (IEC 61882, 2016) on lähtöisin prosessiteollisuudesta, mutta sen käyttö on sittemmin laajennut myös muille teollisuuden aloille. Siinä tarkastellaan systemaattisesti järjestelmän suunnitteludokumenttiota avainsanojen avulla, ja pyritään tunnistamaan mahdollisia poikkeamia järjestelmän suunnittelusta toiminnasta.



Kuva I.10. Turvallisuuden suunnittelun ja ylläpidon menetelmiä eri elinkaaren vaiheissa

Koneiden ja niiden ohjausjärjestelmien turvallisuusvaatimusten määrittelyvaiheessa tehdään ratkaisuja, joilla on vaikutusta koneen koko myöhempien elinkaaren vaiheiden turvallisuuteen. Turvalli-

suusvaatimusten määrittelyssä tehtyjen virheiden on havaittu olevan syynä suureen osaan tapaturmista (Hietikko ym., 2009). Monimutkaisten ja runsaasti ohjelmistotekniikkaa hyödyntävien järjestelmien turvallisuustarkasteluja varten on viime aikoina esitetty myös uusia, järjestelmäteoriaan perustuvia menetelmiä, kuten STAMP ja FRAM. Näissä keskitytään vikaantumisten sijaan järjestelmän eri osa-alueiden väliin vuorovaikutuksiin. (Heikkilä & Tiusanen, 2020)

Turvallisuuskriittisten ohjelmistojen suunnittelu tulee toteuttaa niitä varten laadittujen toimialakohtaisten kansainvälisten standardien mukaan. Ohjelmistojen turvallisuussuunnittelun prosessi tulee kytkeä kiinteästi osaksi koko järjestelmän ja sen ohjausjärjestelmän kehitysprosessiin siten, että turvallisuuteen liittyvät tehtävät tulee tehtyä oikeassa vaiheessa ja systemaattisesti. Ohjelmistojen turvallisuussuunnittelun prosessi kattaa prosessivaiheet alustavasta vaara-analyysistä aina toiminnalliseen testaukseen ja turvallisuuden validointiin. Lisää tietoa ohjausjärjestelmien ja ohjelmistojen turvallisuussuunnitteluun liittyvistä standardeista löytyy mm. Metsta sivuilta (Metsta, 2016).

Turvallisuuden varmentamisen näkökulmasta järjestelmän verifiointi ja validointi (*Verification and Validation, V&V*) ovat keskeisiä työvaiheita. Verifiointin eli todentamisen tarkoituksena on varmistaa, että järjestelmä täyttää sille asetetut suunnitteluvaatimukset. Verifiointia suoritetaan toistuvasti elinkaaren eri vaiheissa. Validoinnilla eli kelpuutuksella puolestaan varmistetaan, että järjestelmä kokonaisuutena sopii käyttötarkoitukseensa aiotulla tavalla.

Kattava dokumentaatio on keskeistä turvallisuuden hallinnassa elinkaaren kaikissa vaiheissa. Eri toimialoilla on erilaisia käytäntöjä dokumentaation laadintaan ja vaadittuun sisältöön liittyen. Esimerkiksi koneiden ja laitteiden valmistuksessa konedirektiivi (2006/42/EY) määrittelee koneiden rakennetiedoston, jossa on kuvattava muun muassa koneen ominaisuudet, tekniset piirustukset, käytetyt standardit sekä riskin arviointia koskeva asiakirjat.

## Turvallisuuden ylläpito käytön aikana

Kun koneita ja laitteita käytetään ja ylläpidetään työpaikalla, on työnantajalla vastuu työpaikan turvallisuudesta. Suomessa työturvallisuuslaki (2002) velvoittaa työnantajia huolehtimaan tarpeellisin toimenpitein työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä. Laki korostaa myös työnantajan ja työntekijöiden yhteistoimintaa. Työpaikalla käytössä olevien, mahdollisesti vanhojen tai modifioitujen, koneiden turvallisuuden vähimmäisvaatimukset on määriteltä direktiivissä 2009/104/EC (2009). Sitä vastaava valtioneuvoston asetus (403/2008) 'Työvälineiden turvallinen käyttö ja tarkastaminen' kattaa työpaikalla käytössä olevien työvälineiden hankinnan, käytön, kunnossapidon, turvallistamisen ja tarkastamisen. Sitä sovelletaan kaikessa työturvallisuuslain (2002) tarkoittamassa työssä.

Työpaikoilla koneita, laitteita ja teollisia järjestelmiä käytetään ja ylläpidetään useita kymmeniä vuosia. Käytön aikana keskitytään riskinhallintatoimenpiteiden riittävyyden seuraamiseen ja mahdollisten havaittujen puutteiden korjaamiseen. Järjestelmään tehtävät muutostyöt tai muutokset sen käyttöprofiilissa tai -ympäristössä on erityisesti huomioitava. Myös huoltotoimenpiteiden ja muiden normaalista operoinnista poikkeavien toimintojen turvallisuus tulee varmentaa. Turvallisuuden hallinta edellyttää tavoitteellista, suunnitelmallista ja kokonaisvaltaista toimintaa. Lähtökohtana on, että työpaikalle hankitaan vain turvallisia EU -vaatimustenmukaisia koneita ja järjestelmiä. Käytössä olevien koneiden vaarat tunnistetaan, riskit arvioidaan ja tehdään niiden perusteella johdopäätökset turvallisuuden parantamiseksi tarvittavista toimenpiteistä. Koko henkilökunnan pitää olla mukana. Yritysten ylin johto on avainasemassa turvallisuuden hallinnassa. Johdon pitää määritellä yrityksessä noudatettava turvallisuuspolitiikka, järjestää tarvittavat resurssit ja valvoa, että toiminta on turvallisuuspolitiikan mukaista (Sundquist & Haapio, 2012).

## Keskeiset opit

- Koneiden, laitteiden ja järjestelmien tulee olla turvallisia. Turvallisuus on pakollinen vaatimus ja sen tulisi olla järjestelmän sisäänrakennettu ominaisuus.
- Uusien koneiden ja laitteiden turvallisuus on valmistajan vastuulla. Turvallisuus tulee huomioida osana järjestelmäsuunnitteluprosessia elinkaaren varhaisista vaiheista lähtien.
- Turvallisuus huomioidaan elinkaaren vaiheissa eri tavoin. Turvallisuusriskien tunnistamiseen, arviointiin ja hallintaan käytetyt menetelmät tulee valita sovelluskohde ja elinkaaren vaihe huomioiden.
- Turvallisuuden ylläpito vaatii kaikkien osapuolten aktiivista toimintaa, seuranta ja muutosten hallintaa.

# 1.4

## ELINJAKSON HALLINTA JA KIERTOTALOUS

*Helena Kortelainen, Jyri Hanski ja Pasi Valkokari*

### Johdanto

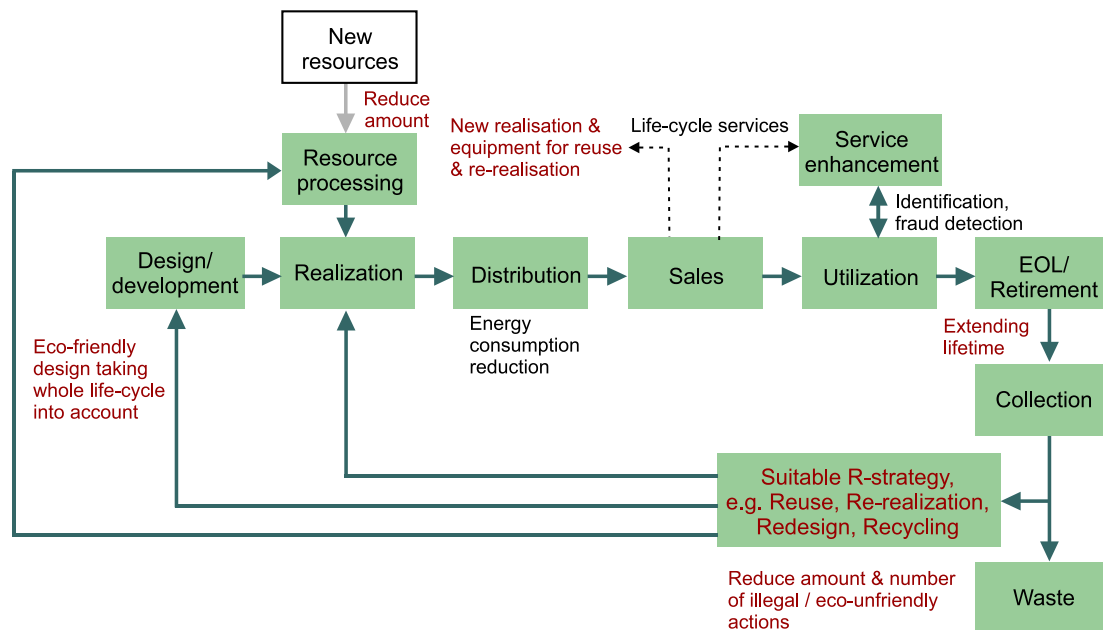
Ellen MacArthur Foundation (2013) määritelmän mukaan kiertotalous on taloudellinen järjestelmä, joka tukee luonnon kantokyvyn palautumista ja kasvua resurssi- ja energiavirtojen sulkemisella, kaventamisella ja hidastamisella. Kiertotalous nojaa kestävä kehityksen periaatteisiin ja pyrkii ratkaisemaan lineaarisen ”valmista-käytä-hylkää” talouden haasteita. Perinteistä omistamista ja kulutusta pyritään korvaamaan ratkaisuilla, jotka perustuvat palveluiden käyttämiseen, jakamiseen ja kierrätykseen. Ympäristönäkökulmien lisäksi kiertotalouden mallit tähtäävät myös taloudellisiin tuottoihin, jotka jakautuvat reilusti mallin toimijoiden kesken.

Elinjakson ja omaisuuden hallinnalla sekä kiertotaloudella on siis yhteisiä tavoitteita ja kaikki mainitut lähestymistavat tähtäävät resurssien tehokkaaseen käyttöön. Tehokkaalla elinjakson ja omaisuudenhallinnalla voidaan siis tukea kiertotalouden tavoitteiden toteuttamista. Kiertotalouden liiketoimintamalleja on kuvailtu esimerkkien kera Osassa 4.

Kiertotalouden keinoin voitaisiin tuoreen kansainvälisen raportin (Sitra, 2018) mukaan vähentää globaaleja ilmastopäästöjä merkittävästi. Kiertotalousmallit voidaan jakaa kulutukseen keskittyvään biologiseen kiertoon ja materiaalien ja tuotteiden uusiokäyttöön keskittyvään tekniseen kiertoon. Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin kiertotalouden teknisiä kiertoja.

### Kiertotalouden tekniset kierrot

Materiaalikiertojen sulkeminen sekä koneiden ja laitteiden elinkaarten pidentäminen nähdään jopa ensisijaisina vaihtoehtoina resurssitehokkuuden näkökulmasta. Kuva 1.11 hahmottelee kiertotalouden muotoja teknisten laitteiden ja -järjestelmien sekä niiden käyttäjien näkökulmasta. Elinkaarten pidentäminen pitää sisällään esimerkiksi kunnossapidon, korjauksen, uudelleenkäytön ja uudelleenvalmistuksen (*remanufacturing*) ratkaisut sekä kiertotalouden huomioivat suunnitteluratkaisut.



Kuva 1.11. Kiertotalouden huomioiva elinjakso malli (Valkokari ym., 2016)

Kiertotalouden näkökulmasta katsottuna perustavaa laatua olevia päätöksiä tehdään laitteen tai järjestelmän konseptointi- ja hankintavaiheessa. Kestävän kehityksen trendi suosii tuotteiden pitkäikäisyyttä ja yleistä resurssien käytön tehokkuutta. Kiertotalous korostaa tuotteiden ja palveluiden koko elinkaaren hallintaa mukaan lukien modernisointi tai saneeraus, käytöstä poisto ja mahdolliset myöhemmät elinkaaret. (Bocken ym., 2016)

## Tuotteiden ekologinen suunnittelu

Ympäristönäkökulmat ja tuotteen koko elinkaaren huomioivat suunnittelumenetelmät ovat yleistyneet 1990-luvulta lähtien. Tuotteiden ekologisella suunnittelulla (*ecodesign*) pyritään varmistamaan, että kuluttajille on tarjolla tuotteita, joiden energiatehokkuus on korkea ja ympäristövaikutus pieni. Ekologisen suunnittelun vaatimuksilla integroidaan ympäristönäkökohdat ja elinkaarirajattelu tuotteiden tuotesuunnitteluvaiheeseen. Ekologisen suunnittelun viitekehys korostaa seuraavia näkökulmia:

- elinkaarivaikutusten (ks. tarkemmin luku 1.5) minimointi materiaalivalinnoissa
- materiaalien käytön vähentäminen
- tuotantomenetelmien optimointi
- jakeluketjujen optimointi
- käyttövaiheen elinkaarivaikutusten minimointi
- ensimmäisen elinjakson elinkaarivaikutusten optimointi
- elinjakson lopun elinkaarivaikutusten optimointi
- uusien konseptien suunnittelu

Toinen merkittävä kestävä suunnittelun viitekehys on tuotteen pitkäikäisyyden huomiointi (*product longevity*). Pitkäikäisyys voidaan saavuttaa kehittämällä tuotetta esimerkiksi uudelleenikäytön ja kierrätettävyyden näkökulmasta ja tekemällä tuotteelle ja sen komponenteille huolto-, korjaus- ja uusimistoimenpiteitä sen elinjakson aikana. Tavoiteltavia tuoteominaisuuksia ovat siis kestävyys, korjattavuus, päivitettavuus, optimoitu energian ja materiaalin kulutus sekä kierrätettavuus.

Kiertotalouden (*Circular Economy, CE*) periaatteita noudattava suunnittelu (*circular design*) on nouseva trendi tuotteiden ja järjestelmien suunnittelussa, joka tähtää materiaalivalintojen ja tuotesuunnittelun kehittämiseen kiertotalouden näkökulmasta. Se yhdistää ekologisen suunnittelun ja pitkäikäisyyden periaatteet samaan suunnitteluviitekehykseen. Lisäksi kiertotalouden periaatteita noudattava suunnittelu huomioi tuotteiden uudelleenikäytön, purkamisen ja kierrätyksen, ja tuotteisiin käytettyjen materiaalien turvallisuuden ja uudelleenikäytettävyyden. Suunnittelun tulisi myös

huomioida liiketoimintamalli, sekä ekosysteemin eri toimijoille koituvat vaikutukset ja mahdolliset sosiaaliset vaikutukset (Chen, 2015).

## Keskeiset opit

- Kiertotalous pitää sisällään useita ratkaisuja resurssi- ja energiavirtojen sulkemiseksi, ka-ventamiseksi ja hidastamiseksi
- Teknisiin järjestelmiin liittyvät kiertotalousratkaisut pitävät sisällään kunnossapidon, kor-jauksen, uudelleenkäytön ja uudelleenvalmistuksen ratkaisut sekä kiertotalouden hu-omioivat suunnitteluratkaisut
- Ekologisuuden, pitkäikäisyyden ja kiertotalouden periaatteiden tulisi korostua tuotteiden, palveluiden ja järjestelmien suunnittelussa

# 1.5

## ELINJAKSON HALLINNAN SUORITUSKYKY JA -MITTARIT

*Helena Kortelainen, Toni Ahonen, Minna Räikkönen Saija Vatanen ja Lotta Hepo-oja*

### Johdanto

Mittareiden avulla voidaan asettaa tavoitteita, osoittaa kehityskohteita, vertailla vaihtoehtoisia ratkaisuja sekä seurata toiminnan laatua ja kehitystä. Tunnuslukujen avulla on mahdollista vertailla yrityksen laitteita ja tuotantoyksiköitä keskenään ja yrityksen eri yksiköiden välillä sekä verrata yrityksen suorituskykyä toimialan muihin yrityksiin tai sopiviin verrokkiorganisaatioihin. Suorituskykymittareita ja tunnuslukuja tarvitaan myös kunnossapitopalvelun laadun ja vaikuttavuuteen liittyvien sopimusehtojen laadinnassa ja toteutumisen seurannassa.

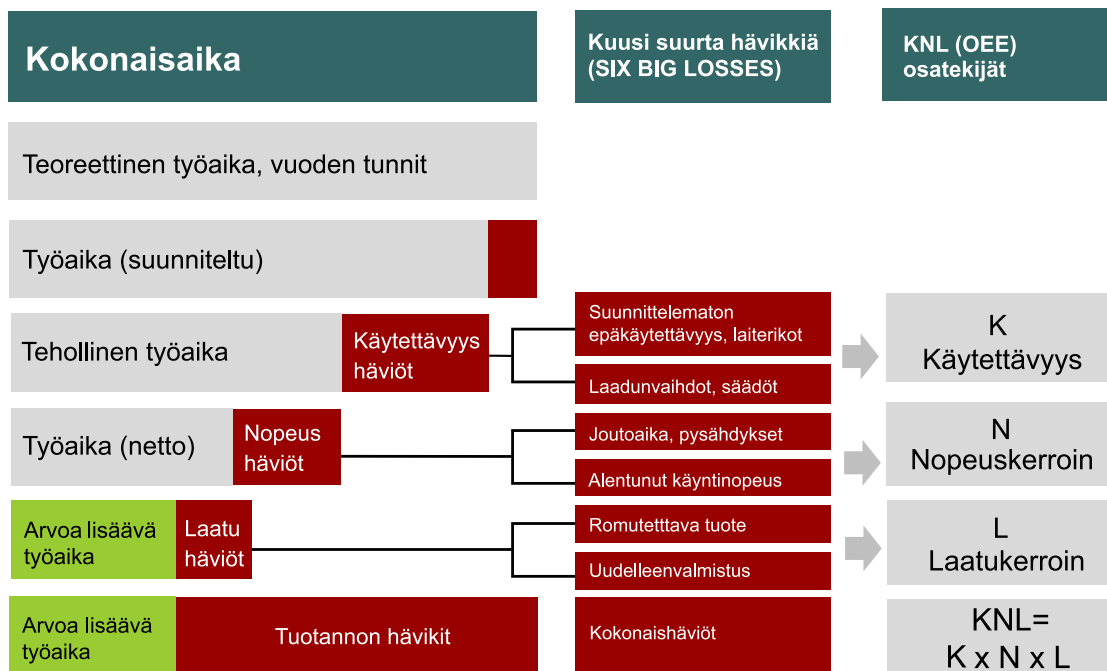
Sisäistä tehokkuutta voidaan tarkastella myös työn tuottavuuden, pääoman tuottavuuden, kustannustehokkuuden ja laadun avulla. Perinteinen työn tuottavuuden mittari on tehdyt työtunnit/tuotettu yksikkö. Työn tuottavuus siis paranee, jos konekantaa voidaan uusia vähemmän ihmistyötä vaativaksi eli investoimalla. Pääoman tuottavuus käytännössä tarkoittaa sitä, että tuotantolaitoksen sidotusta pääomasta saadaan mahdollisimman paljon tuottoa. Pääoman tuotto voidaan siis laskea kertomalla pääoman kiertonopeus tehtaan tulosprosentilla. Kustannustehokkuus tarkoittaa sitä, että tuotetaan asiakkaalle myytävä tuote mahdollisimman pienin yksikkökustannuksin. Investointien mahdollisimman tehokkaalla hyödyntämisellä vaikutetaan aina kustannustehokkuuteen. Viimeinen tehokkuuden dimensio on laatu, joka voidaan menettää, jos tehokkuutta haetaan laadusta välittämättä. (Laine, 2010)

Keskeiset suorituskykyä kuvaavat tunnusluvut (*Key Performance Indicator, KPI*) edustavat niitä mittareita, jotka ovat tärkeimpiä yrityksen nykyisen ja tulevan menestyksen kannalta. Suorituskykyä kuvaavat mittarit ja tunnusluvut ovat tarpeen, jotta tuotantojärjestelmiä ja sen osia voidaan johtaa, käyttää ja ylläpitää mahdollisimman tehokkaalla tavalla niiden koko elinkaaren ajan. Mittareiden avulla voidaan asettaa tavoitteita, osoittaa kehityskohteita, vertailla vaihtoehtoisia ratkaisuja sekä seurata toiminnan laatua ja kehitystä. Tässä luvussa käsitellään kolmea koko elinjakson tai elinkaaren näkökulmasta katsottuna tärkeää käsitettä - OEE, LCA ja LCC - joiden avulla elinjakson tehokkuutta, suorituskykyä tai kannattavuutta voidaan mitata.

### Tuotannon kokonaistehokkuus (KNL, OEE)

Suorituskykyä kuvaavat mittarit ja tunnusluvut ovat tarpeen, jotta tuotantojärjestelmiä ja sen osia voidaan johtaa, käyttää ja ylläpitää mahdollisimman tehokkaalla tavalla niiden koko elinkaaren ajan. Tuotannon kokonaistehokkuus KNL (*Overall Equipment Effectiveness, OEE*) on yleisesti käytetty KPI, joka lasketaan kertomalla käytettävyyttä (K), nopeutta (N) ja laatua (L) kuvaavat osatekijät keskenään. KNL-luvun avulla siis nähdään, millä osuudella teoreettisesta (tai suunnitellusta kapasiteetista) tuotantolinja toimii. Kokonaistehokkuus on armoton mittari: jos kaikki kolme mainittua tekijää ovat 90 % tasolla, on kokonaistehokkuus vain 73 %.





Kuva 1.12. Tuotannon kokonaistehokkuus ja sen osatekijät (Ahonen ym., 2018)

Kunnossapidon toimin vaikuttaa erityisesti käyttövyöteen. Laiterikot, suunnittelemattomat seisokit ja muut odottamattomat häiriöt vaikuttavat käyttövyöteen. Nykyisin yhä useammin myös suunniteltu kunnossapito otetaan huomioon käyttövyötyä laskettaessa, mikä ohjaa kunnossapidon ja käyttöorganisaation yhteistyöhön ja yhteiseen toiminnan suunnitteluun.

Kunnossapidon lisäksi KNL-tasoon vaikuttavat monet prosessin käyttötoiminnon vaatimat asetusajat, tuotteen vaihdot, prosessilaitteiden puhdistaminen sekä eri syistä johtuvat laatuvariaatiot. KNL-mallin avulla voidaan arvioida, kuinka paljon kunnossapidon kehittämisellä voidaan kokonaistuottavuutta parantaa, ja edelleen laskea, mikä tämän lisätuotannon arvo vallitsevassa markkinatilanteessa on.

Kokonaistehokkuutta voidaan siis parantaa vähentämällä laitteiden epäkäytettävyysaika sekä nopeus- ja laatumenetyksiä. Käynnissäpidon tehokkuudella voidaan siis vaikuttaa siihen, kuinka paljon myytävää tuotetta aikayksikössä voidaan tuottaa ja kuinka paljon myyntituottoa voi syntyä.

Kokonaistehokkuus vaikuttaa siis pääoman tuottoasteeseen: oikein mitoitettu ja suunniteltu kunnossapito on tehokkaan tuotannon edellytys. Tehokkaalla kunnossapidolla voidaan tehostaa olemassa olevien tuotantolaitteiden kapasiteetin käyttöä ja parantaa lopputuotteiden laatua. Näiden tekijöiden kautta päästään suurempiin tuotantomääriin ja voidaan mahdollisesti saada lopputuotteista parempi kate. KNL-malli yhdistettynä DuPontin malliin tai vastaaviin malleihin tarjoaa kohtuullisen yksinkertaisella laskennalla karkean käsityksen kunnossapidon kehittämisen hyödyistä.

## Elinjaksokustannukset ja niiden arviointi (Life Cycle Costing, LCC)

Elinjaksokustannuslaskenta (*Life Cycle Costing, LCC*) on käsite, jonka Yhdysvaltain puolustusministeriö loi 1960-luvulla parantaakseen puolustusmateriaalihankintojen tehokkuutta. Sen avulla otettiin käyttöön pitempi suunnitteluajanjänne, joka otti huomioon operointi-, tuki- ja huoltokustannukset. Puolustusmateriaalin hankintoihin kehitetty elinjaksokustannuslaskenta on myöhemmin levinnyt myös muille teollisuuden aloille. Elinjaksokustannusten laskennalla pyritään tukemaan pitkän tähtäimen päätöksentekoa ja suunnittelua. Sovelluksia on mm:

- Hankintavaihtoehtojen vertailu ja arviointi osto- ja hankintapäätöksissä
- Käyttövarmuusvaatimusten kohdentaminen ja valinta
- Vaihtoehtojen toteutusmuotojen (esim. elinkaarimallit) vertailu ja arviointi
- Teknologiavalintojen vertailu ja arviointi

- Koneen, laitteen tai järjestelmän elinkaaren suunnittelu, ylläpitotoimien ja mahdollisten korvaus- tai modernisointi-investointien budjetointi
- Korvaus-, uusinta tai modernisointi-investointien kannattavuuden arviointi
- Kunnossapidon suunnittelu, esim. kunnanvalvontajärjestelmien kannattavuuden arviointi

Sovelluksesta riippuen voidaan pyrkiä joko vaihtoehtojen vertailuun tai kustannusennusteisiin. Vertailussa keskeinen tekijä on suhteellinen tarkkuus, kun taas esim. budjetoinnin pohjaksi laadittavissa ennusteissa pyritään absoluuttiseen tarkkuuteen.

Elinjaksokustannukset (*Life Cycle Cost, LCC* tai *Whole Life Cost, WLC*) koostuvat kaikista tuotteen tai järjestelmän elinjakson aikana syntyvistä välittömistä ja välillisistä kustannuksista. Tuotteen elinjakson aikana eri toimijoille syntyvät kustannukset ovat hyvin monimuotoisia ja tapauskohtaisia, joista esimerkkinä tuotteen ostajalle muodostuvat kustannukset (Ferrin & Plank, 2002):

- hankintahinta
- käyttökustannukset
- laatu
- logistiikka
- teknologia
- kunnossapito
- varastointi
- elinjakson hallinta
- vaihtoehtoiskustannukset (*opportunity cost*)
- tuotteen käytöstä poistaminen
- tuotteen tekniseen tai muusta syystä johtuvaan vanhentumiseen (*obsolescence*) liittyvät kustannukset

Kun tuote poistetaan alkuperäisestä käytöstä, sille voidaan määritellä jäännösarvo (*disposal value*), joka voi muodostua jälleenmyyntiarvosta tai esimerkiksi kierrätettävien materiaalien hinnasta. Useimmat tuotteen elinjakson aikana syntyvät kustannukset eivät ole näkyviä varsinkaan tuotteen suunnittelu- ja hankintavaiheessa, ja tätä tosiasiaa havainnollistetaan usein jäävuorimetaforan avulla (Kuva 1.13).



Kuva 1.13. Useimmat tuotteen elinjakson aikana syntyvät kustannukset eivät ole näkyviä varsinkaan tuotteen suunnittelu- ja hankintavaiheessa.

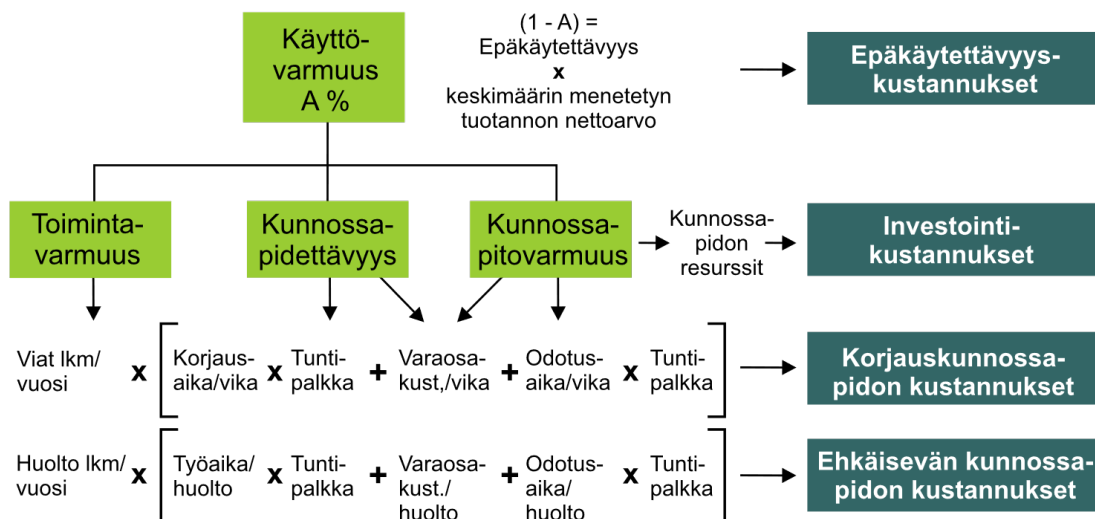
Elinjaksokustannusten laskentaa (LCC) varten on laadittu yleisiä standardeja kuten IEC 60300-3-3:2015 sekä toimialakohtaisia standardeja. Toimialakohtaisista standardeista voidaan mainita esimerkiksi öljy- ja kaasuteollisuuteen soveltuvat ISO15663-1:2000 ja NORSOK Z-014:2012 sekä rakennusteollisuuden SFS-EN 15459:2006. Tämän lisäksi eri toimialoille - kuten puolustusväline-teollisuudessa - on luotu omaa ohjeistoa (esim. NATO guide, 2007). LCC laskenta on kuitenkin luonteeltaan hyvin tapauskohtaista johtuen mahdollisten kustannustekijöiden suuresta määrästä ja mallien erilaisista käyttötarkoituksista

Elinjakson eri vaiheissa kustannukset muodostuvat eri toimijoille. Hankintavaiheessa loppukäyttäjälle näkyvä tuotteen hankintahinta (*acquisition cost*) sisältää tyypillisesti valmistuskustannusten lisäksi kaikki tuotteen kehittämiseen, suunnitteluun, tarkastamiseen, toimittamiseen ja asentamiseen liittyvät kustannukset. Kustannusten jaosta ostajan ja myyjän välillä voidaan toki sopia myös toisin. Omistamisen kustannuksiin (*ownership cost*) puolestaan kuuluu tuotteen käyttöön ja kunnossapitoon sekä tuotteen käytöstä luopumiseen liittyvät kustannukset. Omistamiseen liittyvistä kustannuksista käytetään myös lyhennettä TCO (*Total Cost of Ownership, TCO*). (Ellram & Siferd, 1993)

Omistamisen kustannuksiin kuuluvat myös tuotteen käytön elinkaareen liittyvät järjestelmän kehittämiseen liittyvät toimenpiteet ja mahdolliset kehitys-, parannus- ja modernisointi-investoinnit. Huomioitavaa on, että omistamiseen liittyvät kustannukset sisältävät myös käyttövaiheen aikana tehtyjen kehittämistoimien ja investointien suunnitteluun ja hankintaan liittyvät kustannukset. Käyttövaiheessa syntyy merkittävä osa tuotteen elinjakso-kustannuksista. Esimerkiksi asejärjestelmien osalta on esitetty arvioita, joiden mukaan noin 70 % (Rachuri ym., 2006) kokonaiskustannuksista syntyy käytöstä ja ylläpidosta. Liikkuvien työkonien (Chen ja Keys, 2009) ja raidekaluston (Davies, 2004) osalta arvioidaan, että käytön aikana syntyvät kustannukset ovat suuruusluokaltaan 3 - 4 kertaa hankintahinta. Käyttövaiheen kustannuksiin vaikuttavat merkittäväällä tavalla mm. käyttökohteen olosuhteet ja kulutusosien tarve.

### Käyttövarmuuden osatekijöiden merkitys elinjakso-kustannusten kannalta

Tuotteen tai järjestelmän käyttövarmuus ja järjestelmän elinjakso-kustannukset liittyvät kiinteästi toisiinsa, kuten Kuva 1.14 havainnollistaa.



Kuva 1.14. Käyttövarmuuden osatekijöiden merkitys käyttövaiheen kustannusten muodostumisessa

### Elinjaksokustannusten arvioinnin prosessi

Elinjaksokustannusten laskennalla tarkoitetaan siis taloudellisten vaikutusten arviointiin liittyvää prosessia. Elinjaksokustannus voidaan määritellä koko tuotteen elinjaksolle tai osalle siitä. Laskennan tavoitteena on tukea päätöksentekoa ja valintoja (*trade-off*) päätöksenteon hetkellä syntyvien ja tulevaisuudessa muodostuvien kustannusten välillä. Keskeinen osa LCC analyysin suunnittelua liittyy taloudellisten tulosindikaattoreiden valintaan. Yleisimmin käytettyjä indikaattoreita ovat nykyarvomenetelmä (*Net Present Value, NPV* ja *Discounted Cash Flow, DCF*), pääoman tuottoaste (*Return On Investment, ROI*) ja takaisinmaksuaika (*payback time*).

Elinjaksokustannuslaskelmissa on huomioitava myös se, että rahan arvon riippuu ajasta, josta syystä eri ajankohtina tapahtuvat suoritukset pitää muuttaa keskenään vertailukelpoiseksi. Tämä tapahtuu diskonttotehtäjän eli laskentakoron (*discount factor*) avulla. Laskentakorkoon vaikuttavat mm. pääoman tuotto-odotukset, pääoman hinta ja sijoituksen riskin suuruus. Laskentakorkoksi voidaan asettaa esimerkiksi korkein tuotto-prosentti, joka on mahdollista saada sijoittamalla pääoma parhaaseen mahdolliseen kohteeseen tai korko, joka vastaa yrityksen pääomille pitkän ajanjakson kuluessa saatua keskimääräistä tuottoa. Laskentakoron suuruus vaikuttaa voimakkaasti tarkastelujen tuloksiin.

*Taulukko 1.3. Elinjaksokustannusten laskennan prosessi ja vaiheet (IEC 60300-3-3:2015)*

Prosessin vaihe	Tehtävät
Kohteen määrittely	<ul style="list-style-type: none"> <li>Määritellään tavoitteet ja tarkastelukohde (tuote, järjestelmä, osajärjestelmä jne.)</li> <li>Rajataan ongelma, kuvataan kohde (toimintaprofiilin määrittely ja mallintaminen)</li> </ul>
Laskentamallin rajaukset ja lähtökohdat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Valitaan ja rajataan analyysin keskeiset kustannus- ja tuottoryhmät.</li> <li>Määritellään kustannusrakenne (<i>Cost Breakdown Structure, CBS</i>) ja elinjaksokustannus- ja -tuottofunktiot (laskentakaavat)</li> </ul>
Tietojen hankinta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Määritetään tiedonkeruun tarpeet perustuen tarkastelukohteen kuvaukseen ja laskentamallin viitekehykseen,</li> <li>kartoitetaan käytettävissä olevat tietolähteet sekä arvioidaan laskentaa varten tarvittavien tietojen saatavuus ja luotettavuus ja</li> <li>toteutetaan tiedonkeruu.</li> </ul>
Laskentamallin rakentaminen ja testaus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Analysoidaan tiedonkeruun tuottama tieto ja hyödynnetään sitä laskentamallia kehitettäessä.</li> <li>Tarkennetaan laskentamallin rakenne (kustannus- ja tuottoryhmät) ja laskentamenetelmät</li> <li>Testataan laskentamallin toimivuus ja viimeistellään malli.</li> </ul>
Elinjakso-kustannusten laskenta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laaditaan mallin avulla tarkastelukohteen elinjaksokustannuslaskelmat.</li> <li>Tulevaisuuden kustannusten laskenta laskentahetken hinnoin. Lasketut kustannukset korjaan ottamalla huomioon hintojen ja rahan arvon muutokset.</li> </ul>
Tulosten arviointi ja johtopäätökset	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kustannustekijöiden käyttäytymisen analysointi sekä kehityksen ennustaminen tiedonkeruun tuottamien historiatietojen perusteella sekä muiden käytettävissä olevien tietolähteiden perusteella.</li> <li>Ennusteisiin liittyvän epävarmuuden ja riskin arviointi.</li> <li>Tulosten arviointi ja päätössuositus.</li> <li>Tietojen päivitys: käyttökokemusten seuraaminen ja vertaaminen laskettuihin, poikkeamien syiden selvittäminen, tietojen tallentaminen tulevien laskelmien suorittamiseksi ja käytetyn mallin parantamiseksi.</li> </ul>
Raportointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Raportoinnin laajuus riippuu tarkastelun laajuudesta.</li> </ul>

Fyysisen tuotteen tai palvelun epäkäytettävyydestä (Kuva 1.14) aiheutuvat seurauskustannukset tai “epäkäytettävyyuskustannukset” voivat olla merkittävä kustannustekijä erityisesti, jos epäkäytettävyyys aiheuttaa merkittäviä tuotannon menetyksiä. Epäkäytettävyydestä aiheutuvia kustannuksia ovat esimerkiksi:

- takuukustannukset (*warranty cost*)
- vastuukustannukset (*liability cost*),
- toteutumatta jääneestä tuotannosta aiheutuva menetetty tuotto (*lost revenue*) ja
- korvaavan palvelun tai tuotteen hankkimisesta aiheutuneet kustannukset.

Valmistajan tai toimittajan myöntämä takuu suojaa ostajaa tuotteen virheistä aiheutuneilta kustannuksilta. Takuun aiheuttamat kulut jäävät yleensä valmistajan kannettavaksi. Osana LCC-

kustannuksia pidetään myös vastuukustannuksia. Tuotteen vikaantuminen voi aiheuttaa esimerkiksi henkilövahinkoja tai ympäristön pilaantumista. Vastuukustannusten arviointiin voidaan tarvittaessa käyttää riskianalyysimenetelmiä, asiantuntija-arvioita tai analysoida aiempia kokemuksia. Menetetyistä tuotannosta aiheutuvat kustannukset riippuvat sekä käyttäjän varautumisesta sekä tilanteen aikana vallitsevista olosuhteista (esim. varastotasot ja tilauskanta) sekä asiakkaan kyvystä ja mahdollisuuksista pienentää omille asiakkailleen aiheutunutta haittaa.

Kustannusten kvantitatiivinen analyysi ei useinkaan riitä, vaan vaatii rinnalleen laadullisia tarkasteluja. Kaikkia päätökseen vaikuttavia tekijöitä, kuten ympäristövaikutuksia tai yrityksen imagoa ei voida muuttaa lukuarvoiksi. Tällöin LCC-analyysin rinnalla voidaan arvioida erikseen päätökseen vaikuttavia laadullisia tekijöitä, tästä esimerkki Osassa 4. Vastaavalla tavalla riskianalyysiiä voidaan hyödyntää seurausvaikutusten ja - kustannusten arvioinnissa.

### *Epävarmuuden hallinta*

Elinjaksokustannusten arviointi on monella tapaa haasteellista. Arvioinnissa tarkastellaan tulevaisuudessa syntyviä kuluja, joihin liittyy merkittävää epävarmuutta. Epävarmuutta voidaan tarkastella kolmesta eri näkökulmasta (Goh ym., 2010):

- Datan epävarmuus
- Malliepävarmuus
- Skenaarioon liittyvä epävarmuus

Datan epävarmuus voi johtua useista tekijöistä, joista vain osaan voidaan vaikuttaa hankkimalla lisää dataa. Datan epävarmuuteen vaikuttaa mm. (Goh ym., 2010) luontaisesta sattumanvaraisuudesta johtuva vaihtelevuus (*variability*) (esim. aktiivinen korjausaika), tilastollinen virhe (*statistical error*), jonka lähteenä on datan puute (esim. puutteellinen tai vähäinen luotettavuustieto), kielellinen epämääräisyys (*vagueness*) (esim. komponentti pitää vaihtaa noin 2 - 3 viikon välein) tai monitulkintaisuus (*ambiguity*), jonka lähteenä on usean datalähteen käyttö (asiantuntija 1 ja 2 tuottavat erilaisen arvion vikataajuudesta). Datan epävarmuus voi johtua myös asiantuntijoiden subjektiivisuudesta (esim. ylikuormitus aikataulun toteutumiseen) ja siitä, että tulevaisuudessa tapahtuvia päätöksiä ei vielä tiedetä (esim. toimittaja A vai B).

Elinjaksokustannusten arviointi edellyttää mallintamista: mallin avulla voidaan annetuista lähtötiedoista laskea kustannukset. Lähtötietoihin liittyvä data voi olla epävarmaa, mutta myös itse malliin voi liittyä epävarmuutta. Tyypillisiä malliepävarmuuden lähteitä ovat:

- puutteelliset tai puuttuvat määritelmät
- oletukset ja approksimaatiot
- valitut kustannusarvioinnin menetelmät
- valittu yksityiskohtaisuuden taso
- kustannustekijöiden keskinäiset riippuvuudet

Koska elinjaksokustannusten arviointi käsittelee pitkälle ulottuvan tulevaisuuden tapahtumia ja olosuhteita, on skenaarioepävarmuus merkittävin epävarmuuden lähde. Skenaarioiden epävarmuuteen on vaikea pureutua, mutta datan ja mallien epävarmuutta voidaan vähentää huolellisella pohjatyöllä elinjaksokustannuslaskelmia laadittaessa. Tyypillisiä epävarmuuden arviointiin käytettyjä menetelmiä ovat herkkyyshanalyysi ja simulointi. On myös korostettava riskianalyysien roolia osana LCC-tarkasteluja (Markeset & Kumar 2001; Komonen ym., 2012).

### **Elinkaarianalyysit (LCA)**

Selkeät muutokset ympäristössämme, ympäristönsuojelun tärkeyden tiedostaminen sekä kiertotalousajattelu ovat johtaneet kiinnostukseen kehittää ja käyttää menetelmiä, joilla voidaan arvioida toiminnan vaikutuksia ympäristöön. Yksi menetelmistä on elinkaariarviointi. Elinkaariarviointi (*Life Cycle Assessment, LCA*) tarkoittaa tuotteen, palvelun tai toiminnan elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten määrittämistä ja arviointia. Sillä voidaan arvioida myös erilaisten prosessien ympäristövaikutuksia. Elinkaariarviointia voidaan hyödyntää

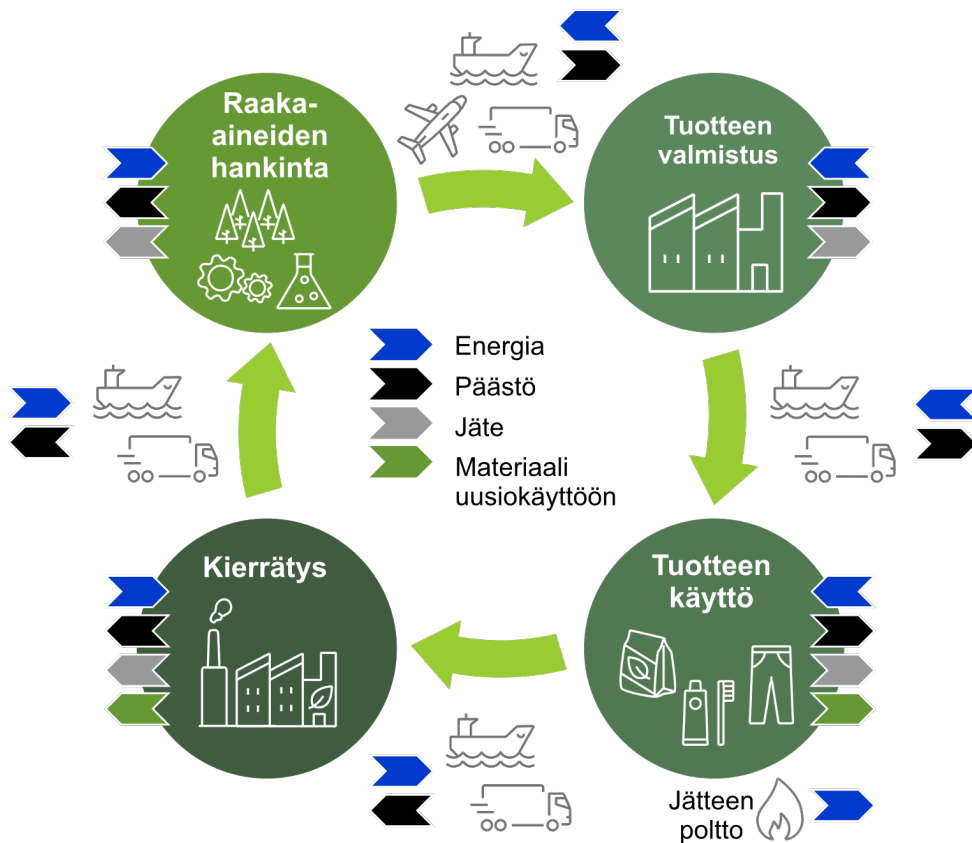
- tuotteiden ympäristösuorituskyvyn parantamisessa elinkaaren eri vaiheissa
- päätöksenteon tueksi teollisuudelle, julkishallinnolle ja järjestöille (esimerkiksi strateginen suunnittelu, prioriteettien asettaminen)

- ympäristösuorituskyvyn mittausten menetelmien ja indikaattoreiden valinnassa
- yrityksen markkinoinnissa ja viestinnässä (esimerkiksi ympäristötuoteselosteet ja ympäristöväittämät)

Elinkaariarviointi on osa ympäristöasioiden hallinnan työkaluja ja sen avulla tuotetaan ympäristöhallinnon kehitystä hyödyttävää tietoa. Muita hallinnan työkaluja ovat esimerkiksi ympäristösuorituskyvyn arviointi, riskien hallinta ja ympäristöauditointi.

Elinkaariarviointi on ISO-standardoitu menetelmä. ISO-standardit ovat kansainvälisen standardointijärjestön (*International Standardisation Organization*) julkaisemia. ISO 14040 (2006) määrittää elinkaariarvioinnin pääperiaatteet ja pääpiirteet, ISO 14044 (2006) määrittää elinkaariarvioinnin vaatimukset ja antaa suuntaviivoja arvioinnin suorittamiseen. ISO 14067 (2018) keskittyy tuotteen hiilijalanjälkeen, sen laskemiseen ja siitä viestimiseen. Lisäksi Euroopan unioni on julkaissut Product Environmental Footprint (PEF) menetelmän tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutusten arviointiin. PEF perustuu elinkaariarviointiin ja mahdollistaa yhdenmukaisen ympäristövaikutusten arvioinnin eri tuotekategorioiden sisällä koko Euroopan alueella.

Elinkaariarvioinnissa keskitytään tuotteen ympäristönäkökohtiin ja potentiaalisiin ympäristövaikutuksiin sen koko elinkaaren aikana, alkaen raaka-aineiden hankinnasta, tuotannon, käytön ja käytöstä poiston kautta aina jätteen loppusijoitukseen asti ja mahdolliseen kierrätykseen. Kuva 1.15 esittää elinkaariajattelun pääpiirteet.



Kuva 1.15. Elinkaariajattelun pääpiirteet

Elinkaariarviointiselvitykseen kuuluu neljä vaihetta:

- a) elinkaariarvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely
- b) inventaarioanalyysi (*Life Cycle Inventory, LCI*)
- c) vaikutusarviointi (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*)
- d) tulosten tulkinta

Elinkaariarvioinnin aluksi määritellään arvioinnin tavoite ja soveltamisala. Tämän jälkeen on määriteltävä selkeät rajat tarkasteltavalle systemille. Systeimirajat määritellään, jotta voidaan yksiselitteisesti osoittaa, mitkä osaprosessit sisällytetään tarkasteluun ja mitkä jätetään tarkastelun ulkopuolelle. Tehtävän selvityksen aihe ja käyttötarkoitus vaikuttavat siihen, miten yksityiskohtaisesti

systemin rajat määritetään. Myös elinkaariarvioinnin tarkkuus ja laajuus määritetään arvioinnin aluksi, ja ne voivat vaihdella suuresti selvityksen tavoitteista riippuen. (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006)

Inventaarioanalyysi on elinkaariarvioinnin toinen vaihe. Siinä arvioitavan systemin syötteet ja tuotteet kootaan ja kuvataan määrällisesti. Tässä vaiheessa toteutetaan myös tiedonkeruu. Tyypillisiä syötteitä ovat energia- ja materiaalivirrat, kuten sähkö tai raaka-aineiden kulutus. Tuotteita taas voivat olla esimerkiksi materiaalliset hyödykkeet, palvelut tai puolivalmisteet. Inventaarioanalyysin tarkkuus määrittelee lopullisen arvioinnin tarkkuuden, joten on tärkeää kerätä mahdollisimman tarkkaa tietoa tarkasteltavasta systemistä. Myös yksikköprosessien kuvaukset kirjataan ylös käyttäen prosessikaavioita. Yksikköprosessien yksityiskohtainen kuvaaminen, käytettyjen yksiköiden luetteleminen ja laskentamenetelmien kuvaaminen helpottavat käsiteltävien tuotejärjestelmien yhdenmukaista ja johdonmukaista käsittelyä. Tämän lisäksi inventaarioanalyysissä määritetään päästöt ilmaan, veteen ja maaperään sekä muut oleelliset ympäristönäkökohdat. (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006)

Vaikutusarviointi perustuu inventaarioanalyysissä kerättyyn tietoon ja sen tarkoitus on arvioida potentiaalisia ympäristövaikutuksia, joita tarkasteltavan tuotteen elinkaaren aikana syntyy, sekä arvioida niiden laajuutta ja vaikuttavuutta. Tämä tehdään sijoittamalla inventaarioanalyysin tulokset määrättyyn vaikutusluokkaan. Ympäristövaikutusluokkia ovat esimerkiksi rehevöityminen, happamoituminen tai ilmastonmuutos. Jotta ympäristövaikutukset muuttuvat numeerisiksi tuloksiksi, on käytettävä karakterisointimalleja ja -kertoimia. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen karakterisointimallina toimii IPCC:n määrittämä 100 vuoden vertailumalli ja karakterisointikertoimenä ilmastonlämpenemiskerroin (GWP100), joka on ominainen kullekin kasvihuonekaasulle. Karakterisointimalli kuvaa kunkin vaikutusluokan ympäristövaikutusta. (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006)

Inventaarioanalyysin tulokset eivät sinällään kelpaa karakterisointimalliin, vaan ne on kerrottava karakterisointikertoimella, joka muuttaa tulokset karakterisointimalliin sopiviksi. Esimerkiksi ilmastonmuutosta tarkasteltaessa kaikki elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi, joiden yhteissummasta saadaan tarkasteltavan systemin ilmastonmuutospotentiaali, GWP. Tätä varten käytetään karakterisointikertoimia, esimerkki kasvihuonekaasujen karakterisointikertoimista on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 1.4).

*Taulukko 1.4. Kasvihuonekaasujen karakterisointikertoimia*

Hiilidioksidi	1
Metaani	28
Dityppioksidi	298

Tulosten tulkinta on arvioinnin viimeinen vaihe. Sen tavoitteena on tehdä johtopäätöksiä ja antaa suosituksia elinkaariarvioinnin alussa määriteltyyn tavoitteeseen ja soveltamisalaan nähden käyttäen sekä inventaarioanalyysin että ympäristövaikutusten arvioinnin tuloksia. (ISO 14040, 2006) Koko elinkaariarviointiprosessin on oltava läpinäkyvä ja monipuolinen ja tulosten tulkinnan mahdollisimman yksiselitteinen.

Elinkaariarvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää monella tapaa esimerkiksi tuotekehitykseen, poliittiseen päätöksentekoon, strategiseen suunnitteluun sekä markkinointiin. Elinkaariarviointia hyödynnetään myös laskettaessa ja viestittäessä esimerkiksi hiili- ja vesijalanjälkiä. Myös elinkaarikustannuslaskennassa voidaan käyttää elinkaariarvioinnin tuloksia. (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006)

Monet yritykset pyrkivät pienentämään omaa jalanjälkeään, mutta samalla yhä useampi yritys kehittää tuotteita tai prosesseja, jotka tähtäävät asiakkaan tuotteen tai palvelun jalanjäljen pienentämiseen, jolloin toiminta aiheuttaa myös positiivisen ympäristövaikutuksen eli kädenjäljen. Myös kädenjälkilaskenta pohjautuu elinkaariarviointiin. VTT ja LUT-yliopisto ovat kehittäneet hiilikädenjälkimenetelmän positiivisten ympäristövaikutusten arviointiin ja viestintään. (Pajula ym., 2018). Hiilikädenjälki voi syntyä monin eri tavoin, kuten pienemmän materiaalin ja energian käytön, päästöjen ja hävikin vähentämisen tai tuotteen suorituskyvyn ja eliniän kasvattamisen kautta.

## Keskeiset opit

- Suorituskykyä kuvaavat mittarit ja tunnusluvut (KPI) ovat tarpeen, jotta tuotteiden ja järjestelmien suorituskykyä voidaan ylläpitää ja kehittää mahdollisimman tehokkaalla tavalla niiden koko elinkaaren ajan.
- Kokonaistehokkuus (KNL, OEE) kuvaa järjestelmän toiminnan tehokkuutta suhteessa teoreettiseen tai suunniteltuun toimintaan.
- Elinjaksokustannukset (LCC, WLC, TCO) koostuvat kaikista tuotteen tai järjestelmän elinjakson aikana syntyvistä välittömistä ja välillisistä kustannuksista.
- Elinjaksokustannusten arvioinnissa tarkastellaan tulevaisuudessa syntyviä kuluja ja käytöskenaarioita, joten epävarmuuden ja riskien tarkastelu on oleellinen osa prosessia.
- Elinkaariarvioinnilla (LCA) tutkitaan tuotteen, palvelun tai toiminnan ympäristövaikutuksia ISO standardoitu menetelmän avulla.
- Elinkaariarvioinnissa keskitytään ympäristönäkökohtiin ja potentiaalsiin ympäristövaikutuksiin (esim. ilmastonmuutos) sen koko elinkaaren aikana.
- Jalanjäljet kuvaavat elinkaaren aikaista ympäristökuormaa, kun taas kädenjäljillä kuvataan positiivisia ympäristöhyötyjä.
- Elinkaariarvioinnin ja elinjaksokustannusten arvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotekehitykseen, tukemaan päätöksentekoa, strategiseen suunnitteluun sekä markkinointiin.



# 1.6

## RISKIEN HALLINTA

*Teuvo Uusitalo*

### Johdanto

Kaikkeen organisaation toimintaan liittyy olennaisena osana epävarmuutta. Tämän epävarmuuden tunnistaminen ja käsittely ovat keskeinen osa menestyvän organisaation toimintaa. Systemaattisen riskienhallinnan avulla voidaan toimia epävarmassa toimintaympäristössä. Hyvin toteutettu riskienhallinta tuottaa lisäarvoa.

Riskienhallinnan merkitys on korostunut viime aikoina useista syistä. Vuoden 2020 koronapandemia on tuonut esiin uusia haasteita yhteiskunnan kaikilla tasoilla. Lisäksi yritysten toimintaan kohdistuu jatkuvasti muutoksia, koska liiketoimintaympäristö ja tuotteet muuttuvat ja uusi teknologia mahdollistaa uusia palveluita ja tuotteita. Myös liiketoimintamallit muuttuvat, jolloin hyötyjen, riskien ja vastuun jakaminen osapuolten välillä muuttuu. Kestävän kehityksen mukaiset ympäristövaatimukset ajavat uuden teknologian kehittämistä ja markkinoille tulee uusia toimijoita. Tuotantojärjestelmät, arvoketjut ja verkostot monimutkaistuvat ja ovat vaikeammin hallittavissa ja markkinoiden reaktiot ovat nopeita. Maailman talouden lisääntynyt epävarmuus on uusi normaali.

Riskien taustalla on yleensä useita tekijöitä. Suuronnettomuuksia ja merkittäviä toteutuneita riskejä tutkineet ovat havainneet, että riskien toteutumiseen vaikuttavat monesti organisaatioiden päätöksentekoon ja johtamiseen liittyvät seikat. Vuoden 2008 kansainvälisen pankkikriisin tutkimuksessa tuli esiin, että joidenkin yritysten hallitukset ja ylin johto epäonnistuivat hyväksyttävän riskin tason määrittelemisessä ja mittaamisessa. Tehokasta riskien tunnistamista ja mittaamista varten ei ollut riittävää teknologista infrastruktuuria. Lisäksi organisaatioiden kulttuuri kannusti riskin ottoon (Senior Supervisors Group, 2009). Deepwater Horizon öljynporauslautan onnettomuustutkimuksessa päädyttiin siihen, että onnettomuus olisi ollut estettävissä, jos voimassa olevia ohjeita ja käytäntöjä olisi noudatettu. Organisaation toiminnassa keskityttiin taloudellisen tuloksen tekemiseen ja riskien arviointi ja hallinta jätettiin lähes huomiotta. Toimintakulttuuri kannusti riskin ottoon systemaattisen riskien hallinnan kustannuksella (Deepwater Horizon Study Group, 2011). Myös Fukushima ydinvoimalaonnettomuuden tutkimuksessa päädyttiin johtopäätökseen, että onnettomuus olisi ollut estettävissä, jos riskien hallinta olisi ollut riittävän korkealla tasolla. Ydinvoimalan operaattori sekä valvontaviranomaiset eivät esimerkiksi olleet arvioineet vahinkojen todennäköisyyttä eivätkä olleet riittävästi varautuneet onnettomuustilanteisiin (The National Diet of Japan, 2012).

Riskienhallinta on keskeinen osa organisaation strategista johtamista. Riskienhallintaan sisältyy systemaattinen prosessi, jolla riskejä tunnistetaan, arvioidaan ja hallitaan. Riskienhallinnan tavoitteena on vastata neljään peruskysymykseen:

1. Mitä voi tapahtua?
2. Kuinka todennäköistä tämä on?
3. Jos tapahtuma toteutuu, mitkä ovat seuraukset?
4. Miten todennäköisyyttä ja/tai seurauksia voidaan pienentää tai hallita?

“Riski” ymmärretään eri tavoin riippuen asiayhteydestä ja kielenkäytöstä. Riski yleensä tarkoittaa jotain ei-toivottua. Toisaalta riski viittaa myös mahdollisuuteen ja epävarmuuteen. SFS ISO 31000 (2018) määrittelee riskin seuraavasti:

➤ *riski on epävarmuuden vaikutus tavoitteisiin*

Vaikutus on poikkeama odotetusta. Se voi olla myönteinen, kielteinen tai molempia, ja se voi käsitellä, luoda tai saada aikaan mahdollisuuksia ja uhkia. Tavoitteilla voi olla eri näkökohtia ja luokkia, ja niitä voidaan soveltaa eri tasoihin. Riski ilmaistaan tavallisesti riskin lähteiden, mahdollisten tapahtumien, niiden seurausten ja niiden todennäköisyyden yhdistelmänä (SFS ISO 31000, 2018)

Riskienhallinnassa voidaan tarkastella riskejä ja soveltaa riskienhallinnan menetelmiä eri tasoilla. Komponenttitasolla tarkastelu kohdistuu luotettavuuteen. Konejärjestelmissä keskeisiä seikkoja ovat koneturvallisuus, luotettavuus, ja tapaturmariskien torjunta. Tuotantojärjestelmien riskienhallinnassa pitää ottaa huomioon ympäristöriskit, prosessi- ja järjestelmäturvallisuus sekä riskit ulkoisille sidosryhmille. Liiketoiminnan tasolla tarkastelussa ovat liiketoimintariskit, taloudelliset ja rahoitukseen liittyvät sekä strategiset riskit. Globaalilla tasolla riskitarkastelussa ovat esimerkiksi ilmastonmuutos, veden saatavuus, väestönkasvu ja geopolitiikka.

Riskejä voidaan luokitella eri tavoin. Kaplan & Mikes (2012) esittelevät seuraavan luokittelun:

- Estettävissä olevat riskit: työtapaturmat, katkokset operatiivisissa prosesseissa, väärät tai virheelliset toimenpiteet.
- Strategiset riskit: vapaaehtoisesti hyväksytyt riskit, joilla tavoitellaan strategiasta saavutettavia erinomaisia tuloksia.
- Ulkoiset riskit: organisaation ulkopuolisista tapahtumista johtuvat riskit, jotka ovat organisaation vaikutuksen ja hallinnan ulottumattomissa.

Estettävissä olevien riskien hallinnassa tavoitteena on välttää tai poistaa riskitekijät kustannustehokkaasti. Strategisten riskien hallinnassa keskitytään tapahtumien todennäköisyyden tai seurausten vakavuuden pienentämiseen. Ulkoisten riskien osalta pyritään seurausten vakavuuden pienentämiseen siinä tapauksessa, että riski toteutuu.

## Riskienhallintastandardi SFS-ISO 31000

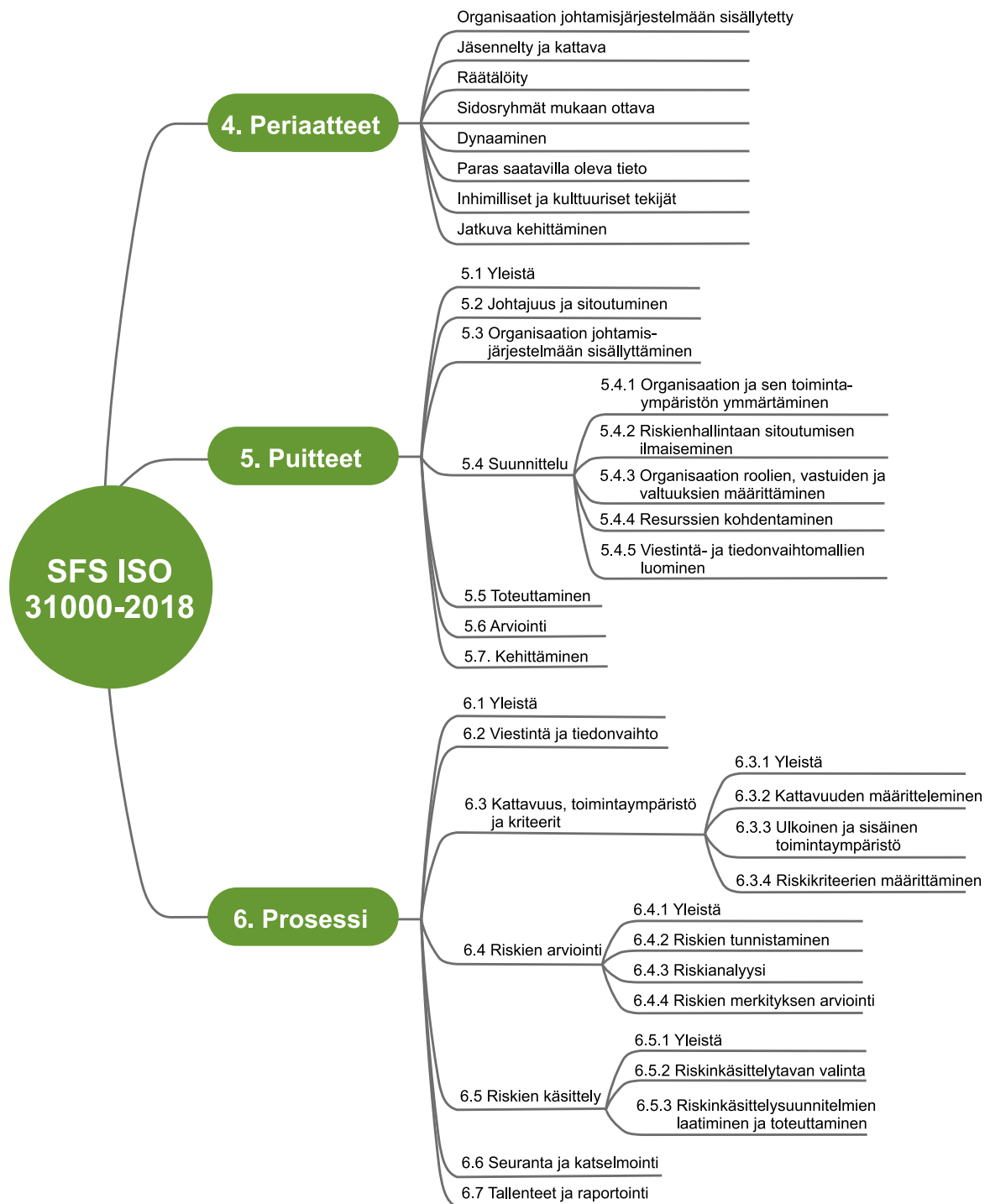
Riskienhallintastandardi SFS ISO 31000 (2018) kuvaa riskienhallinnan periaatteet, puitteet ja prosessin (Kuva 1.16). Standardi esittelee yleisen toimintamallin, jota voidaan hyödyntää kaikilla toimialoilla ja soveltaa kaiken tyyppisten riskien hallintaan. Toimintamallia voi olla tarpeen muokata tai kehittää organisaation toimintaan sopivaksi, jotta riskienhallinta on tehokasta, vaikuttavaa ja johdonmukaista.

Riskienhallinnan periaatteet ohjaavat toimintaa. Riskienhallinnan pitää olla mukana organisaation johtamisjärjestelmässä, toiminnan jäsentely ja kattavuus edesauttavat tulosten vertailukelpoisuutta. Riskienhallinta pitää sovittaa organisaation toimintaan ja toimintaympäristöön. Keskeiset sidosryhmät pitää huomioida ja ottaa mukaan sopivalla tavalla. Muutokset sisäisessä ja ulkoisessa toimintaympäristössä vaikuttavat riskeihin ja muutokset pitää ottaa huomioon riskienhallinnassa. Historiatieto, tiedot nykytilanteesta ja arviot tulevaisuuden kehityksestä ovat keskeisiä lähtötietoja riskienhallinnassa. Inhimilliset ja kulttuuriset tekijät vaikuttavat merkittävästi toimintaan ja riskienhallintaan. Riskienhallintaa pitää kehittää jatkuvasti.

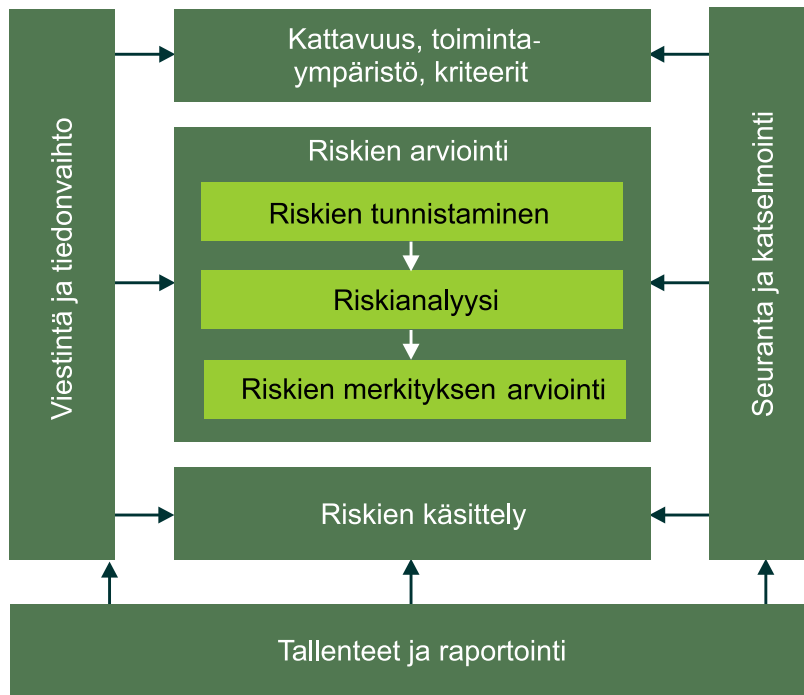
Riskienhallinnan puitteet kuvaavat miten riskienhallinta sisällytetään organisaation keskeisiin toimintoihin ja tehtäviin. Riskienhallinnan puitteiden kehittämiseen kuuluvat riskienhallinnan sisällyttäminen organisaation johtamisjärjestelmään ja riskienhallinnan suunnittelu, toteuttaminen, arviointi ja kehittäminen.

Riskienhallintaprosessiin kuuluvat viestintä ja tiedonvaihto sidosryhmien kanssa, toimintaympäristön ja riskikriteerien määrittäminen, riskien arviointi, riskien käsittely, seuraaminen, katselmointi, kirjaaminen ja raportointi (Kuva 1.17).

Riskienhallintaprosessin keskeinen osa on riskien arviointi. Riskien arviointi sisältää riskien tunnistamisen, riskianalyysin ja riskin merkityksen arvioinnin. Riskien tunnistamisen tavoitteena on löytää, havaita ja kuvata riskit, jotka voivat estää tarkasteltavan toiminnan tavoitteiden saavuttamisen tai auttaa tavoitteiden saavuttamisessa. Riskianalyysissä tarkastellaan tunnistettujen riskien mahdollisia seurauksia ja seurauksiin vaikuttavia tekijöitä, arvioidaan riskien todennäköisyyttä sekä arvioidaan nykyisten hallintatoimien vaikuttavuutta. Riskianalyysiin on kehitetty useita menetelmiä ja näitä on kuvattu standardissa ISO/IEC 31010:2019. Riskin merkityksen arvioinnissa riskianalyysin tuloksia verrataan määriteltuihin riskikriteereihin. Tämän arvioinnin perusteella voidaan tehdä riskien käsittelemistä tai hyväksymistä koskevat päätökset ottaen huomioon toimintaympäristö, erilaiset ulkoiset ja sisäiset vaatimukset sekä seuraukset sidosryhmille.



Kuva I.16. Standardin SFS ISO 31000 (2018) riskienhallinnan periaatteita, puitteita ja prosessia kuvaavien osien rakenne



Kuva 1.17. Riskienhallinnan prosessi (SFS ISO 31000, 2018)

## Keskeiset opit

- Riskienhallinta on keskeinen osa organisaation strategista johtamista. Hyvin toteutettu riskienhallinta tuottaa lisäarvoa.
- Riskienhallinnassa voidaan tarkastella riskejä ja soveltaa riskienhallinnan menetelmiä eri tasoilla.
- SFS ISO 31000 esittelee yleisen riskienhallinnan toimintamallin, jota voidaan hyödyntää kaikilla toimialoilla ja soveltaa kaiken tyyppisiin riskeihin. Standardissa kuvataan riskienhallinnan periaatteet, puitteet ja prosessi.
- Riskienhallinta on systemaattista ja johdettua toimintaa.

## LÄHTEET

- Ahonen, T., Jännes, J., Kunttu, S., Valkokari, P., Venho-Ahonen, O., Välisalo, T., Ellman, A., Hietala, J-P., Multanen, P., Mäkiranta, A., Saarinen, H. & Franssila, H., (2012) Käyttövarmuuden hallinta: standardista käytäntöön. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. 84 p. (VTT Technology; No. 69). <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2012/T69.pdf>
- Ahonen, T. Hanski, J., Uusitalo, T., Vainio, H., Kunttu, S., Valkokari, P., Kortelainen, H. & Koskinen, K. (2018) Smart asset management as a service. Smart Advantage project Deliverable 2.0. Saatavissa: [https://www.researchgate.net/publication/325285755\\_Smart\\_asset\\_management\\_as\\_a\\_service\\_Deliverable\\_20](https://www.researchgate.net/publication/325285755_Smart_asset_management_as_a_service_Deliverable_20)
- Amaral, L.A.N. & Uzzi, B. (2007) Complex Systems – A New Paradigm for the Integrative Study of Management, Physical, and Technological Systems. Management Science, Vol. 53, No. 7.
- Blanchard, B.S. & Fabrycky, W.J. (2000) Systems engineering and analysis (3<sup>rd</sup> ed). Eaglewood Cliffs, NJ. Prentice Hall.
- Bocken, N.M.P., de Pauw, I., Bakker, C. & van der Grinten, B. (2016) Product design and business model strategies for a circular economy. Journal of Industrial and Production Engineering. Vol. 33, No. 5, pp. 308-320.
- CENELEC - EN 50126-1 (2017) Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process, 106s.
- Chen, H.-L. (2015) Circular Design: Developing a Framework for Product Service Design in a Circular Economy. Master Thesis, University of Graz.
- Chen, S. & Keys, L.K. (2009) A cost analysis model for heavy equipment. Computers & Industrial Engineering. Vol. 56, No 4. pp. 1276-1288.
- Davies A. (2004) Moving base into high-value integrated solutions: a value stream approach. Industrial and Corporate Change. Vol. 13, No 5, pp. 727-756.
- Deepwater Horizon Study Group (2011) Final Report on the Investigation of the Macondo Well Blowout. Available at: [http://ccrm.berkeley.edu/pdfs\\_papers/bea\\_pdfs/dhsgfinalreport-march2011-tag.pdf](http://ccrm.berkeley.edu/pdfs_papers/bea_pdfs/dhsgfinalreport-march2011-tag.pdf).
- DIN ISO 15226 (2017) Technical product documentation - Life cycle model and allocation of documents, 19s.
- Directive 2006/42/EC (2006) Directive 2006/42/EC of the European parliament and of the council of 17 May 2006 on Machinery. European Commission. Official Journal of the European Union, L 157, pp. 24–86.
- Directive 2009/104/EC (2009) Directive 2009/104/EC of the European parliament and of the council of 16 September 2009 concerning the minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers at work. European Commission. Official Journal of the European Union, L 260, pp. 5–19.
- Ellen MacArthur Foundation (2013). Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for accelerated transition. Report. Saatavissa: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- Ellram, L. M. & Siferd, S.P. (1993) Purchasing: the cornerstone of the total cost of ownership concept. Journal of Business Logistics. Vol. 14, No 1, pp. 163-184.

- EN-50126-1 (2017) Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process. 106 p.
- Ferrin, B.G & Plank, R.E. (2002) Total cost of ownership models: an exploratory study. *J. Supply Chain Management*. Vol. 38, No. 3. pp 18-29.
- FprEN 17485 (2020) Maintenance within physical asset management — Framework for improving the value of the physical assets through their whole life cycle. CEN TC 319.
- Goh, Y. M., Newnes, L. B., Mileham, A. R., McMahon, C. A. & Saravi, M. E. (2010) Uncertainty in through-life costing-review and perspectives. *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 57, No. 4, pp. 689–701. <https://doi.org/10.1109/TEM.2010.2040745>
- Granhölm, G. (Ed.) (2013) Katsaus kompleksisten järjestelmien elinkaaren suunnitteluun. Espoo 2013. VTT Technology 121. 220 p. + app. 9 p.
- Hastings, N. A. J. (2015) Physical Asset Management. doi: 10.1007/978-3-319-14777-2.
- Heikkilä, E & Tiusanen, R (2020) Applicability of systems-theoretic methods in the safety assessment of autonomous port logistics. In: M Parsons & M Nicholson (eds), *Assuring Safe Autonomy: Proceedings of the 28th Safety-Critical Systems Symposium (SSS'20)*. pp. 413-416. The 28th Safety-Critical Systems Symposium 2020, York, United Kingdom, 11/02/20.
- Hietikko, M., Malm, T. & Alanen, J. (2009). Koneiden ohjausjärjestelmien toiminnallinen turvallisuus. Ohjeita ja työkaluja standardien mukaisen turvallisuusprosessin luomiseen. Espoo 2009. VTT Tiedotteita 2485. 75 s. + liitt. 14 s.
- IEC 60300-1 (2014) Dependability management – Part 1: Guidance for management and application.
- IEC 60300-3-3 (2015) Dependability management - Part 3-3 Application Guide - Life cycle costing.
- IEC 60050-192 ed.1.0 (2015) International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 192: Dependability.
- IEC 60812 (2018) Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA).
- IEC 61025 (2006) Fault tree analysis (FTA). International Standard.
- IEC 61882 (2016) Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide.
- ISO 14040 (2006) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.
- ISO 14044 (2006) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja
- ISO 14067 (2018) Greenhouse gases. Carbon footprint of products. Requirements and guidelines for quantification.
- ISO 15663-1 (2000) Petroleum and natural gas industries – Life cycle costing- Part 1 Methodology.
- ISO/IEC 16085 (2006) Systems and software engineering — Life cycle processes — Risk management.
- ISO/IEC/IEEE 15288 (2015) Systems and software engineering – System life cycle processes.
- ISO/IEC/IEEE 24748-1 (2018) Systems and software engineering — Life cycle management — Part 1: Guidelines for life cycle management.
- ISO/IEC 26702 (2007) Systems engineering — Application and management of the systems engineering process.
- Jokinen, T. (2011) Elinjakso mallien käyttö merivoimien suorituskykyjen suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpitämisessä. Maanpuolustuskorkeakoulu. Saatavissa: [https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74283/E4085\\_JokinenTJ\\_EUK63.pdf?sequence=1](https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74283/E4085_JokinenTJ_EUK63.pdf?sequence=1)
- Kaplan & Mikes (2012) Managing Risks: A New Framework. *Harvard Business Review*. June 2012. pp. 2-14.

- Kortelainen, H., Hanski, J., & Valkokari, P. (2020). Advanced technologies for effective asset management - two cases in capital intensive branches. IFAC-PapersOnLine. Vol. 53, No. 3, pp. 7-12.  
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.11.002>
- Komonen, K., Kortelainen, H. & Räikkönen, M. (2012) Corporate Asset Management for Industrial Companies: An Integrated Business-Driven Approach. In: Vander Lei, T.; Herder P. & Wijnia, Y. (Eds.). Asset Management. The State of the Art in Europe from a Life Cycle Perspective. Springer Science; Business Media B.V., pp. 47-63.
- Koneasetus (2008) Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 400/2008.
- Konelaki (2004) Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta 1016/2004.
- Käyttöasetus (2008) Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta 403/2008 (muutos VnA 1101/2010).
- Laine, H. (201) Tehokas kunnossapito - tuottavuutta käynnissäpidolla. KP-Media Oy, Helsinki. s. 14-17.
- Leveson, N. (2012) Engineering a safer world: Systems thinking applied to safety. MIT Press.
- Markeset, T. & Kumar, U. (2001) R&M and Risk-Analysis Tools in Product Design, to Reduce Life-Cycle Cost and Improve Attractiveness. Annual Reliability and Maintainability Symposium, Jan 22-25, Philadelphia: USA, pp. 116-122.
- Metsta (2016) Koneturvallisuusstandardit. Metsta. Saatavilla:  
<https://metsta.fi/wp-content/uploads/2020/05/Koneturvallisuusesite2016.pdf>
- MIL-STD-882E (2012) Department of defense. Standard practice: System safety.
- NATO guide (2007) Methods and Models for Life Cycle Costing. RTO Technical Report.
- NORSOK Z-014 (2012) Standard cost coding system (SCCS).
- Pajula, T., Vatanen, S., Pihkola, H., Grönman, K., Kasurinen, H., & Soukka, R. (2018) Carbon Handprint Guide. VTT Technical Research Centre of Finland. Saatavissa:  
[https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22508565/Carbon\\_Handprint\\_Guide.pdf](https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/22508565/Carbon_Handprint_Guide.pdf)
- Ponsi, J. (2006) Through Life Information Management (TLIM), Essential part of Product Lifecycle Management. FINSE ry – Fall Seminar 2006.
- Rachuri, S., Foufou, S. & Kemmer, S. (2006) Analysis of Standards for Lifecycle Management of Systems for US Army - a preliminary investigation (NISTIR 7339). NIST - National Institute of Standards and Technology.
- Rausand, M. (2011) Risk Assessment: Theory, Methods, and Applications. John Wiley & Sons.
- Roy, R., Stark, R., Tracht, K., Takata, S. & Mori, M. (2016) Continuous maintenance and the future - Foundations and technological challenges. CIRP Annals - Manufacturing Technology. Vol. 65. pp. 667-688.
- Räikkönen, M., Kortelainen, H. & Välisalo, T. (2019) Kunnossapitoinvestoinnit: Muutakin kuin taloudellista hyötyä. *Promaint*. No. 1, pp. 24-26.
- Räikkönen, M., Uusitalo, T., Molarius, R., Kortelainen, H., Di Noi, C., & Horn, S. (2019) Asset management framework for assessing the economic, environmental and social impact and risks of water balance system. In *2019 World Congress: Resilience, Reliability and Asset Management: Conference proceedings* (pp. 110-113). Future Resilient Systems (FRS).
- Senior Supervisors Group (2009) Risk Management Lessons from the Global Banking Crisis of 2008.
- SFS-EN 15459 (2006) Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusten energiajärjestelmien taloudellisuuden arviointimenettelyt. Metalliteollisuuden Standardisoimisyhdistys ry. 88s.
- SFS ISO 31000 (2018) Riskienhallinta. Ohjeet.

- SFS-ISO 55000 (2014) Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit.
- SFS-ISO 55002 (2014) Omaisuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001:2014 soveltamisesta.
- Siirilä, T. & Tytykoski, K. (2016) Koneturvallisuuden käsikirja. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.
- Sitra (2018) The circular economy – a powerful force for climate mitigation. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2018/05/04145239/material-economics-circular-economy.pdf>
- Stark, J. (2011) Product Lifecycle Management. 21st Century Paradigm for Product Realisation, 2nd ed. Springer-Verlag London Limited. 561 p.
- Sundquist, M & Haapio, H. (2012) Ennakoiva suunnittelu ja sopiminen koneiden vaatimustenmukaisuuden ja turvallisuuden varmistamisessa, Lexpert Oy, Helsinki.
- The National Diet of Japan (2012) The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission. Available at: [https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naaic\\_report.pdf](https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naaic_report.pdf).
- Tiusanen, R. (2014) An approach for the assessment of safety risks in automated mobile work-machine systems: Dissertation. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Työturvallisuuslaki (2002) Työturvallisuuslaki, 738/2002.
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2004) Product Design and Development. 3rd edition. McGraw-Hill, New York. 366 s.
- Valkokari, P., Tura, N., Martinsuo, M., Dooley, K., Hanski, J., Jännes, J. & Valkokari, K. (2016). Sustainable business - Case studies from Finnish forerunners. VTT Technical Research Centre of Finland.
- VDI 2221 (1993) Systematic Approach to the Development and Design of Technical Systems and Products, Association of German Engineers, 44 p.
- Westkämper, E. & Alting, A. (2000) Life cycle management and assessment: approaches and visions towards sustainable manufacturing (keynote paper). CIRP Annals. Vol. 49, No 2, pp. 501-526.



# OSA 2

## TUOTANTO-OMAISUUDEN HALLINTA

# 2.1

## MITÄ ON TUOTANTO-OMAIUUDEH HALLINTA

Kari Komonen

### Johdanto

Tuotanto-omaisuuden hallinta (tässä tekstissä käytetään fyysistä omaisuutta ja tuotanto-omaisuutta synonyymeinä) ei ole uusi aihe. Investoijat ja liikkeenjohto ovat tehneet omaisuuden hallintaa satoja, ellei jopa tuhansia vuosia. Kuitenkin muutokset elinympäristössämme ja liiketoimintaympäristössämme tarkoittavat, että laadukas fyysinen omaisuuden hallinta on nyt tärkeämpää kuin koskaan ennen (Tämä luku perustuu muunnoksin Kunnossapidon vuosikirjan 2019 tekstiin: Kari Komonen, 2019).

Teollisuudessa tuotanto-omaisuuden hallinnan strategia (*SAMP = Strategic Asset Management Plan*) rakentuu yrityksen liiketoimintastrategian pohjalta ja sen tavoitteena on tukea yrityksen liiketoiminnan tavoitteiden toteutumista. Tuotanto-omaisuuden hallinnan strategiaan - ja strategian pohjalta tehtäviin valintoihin - vaikuttaa yrityksen käytössä olevan teknologian lisäksi yrityksen ja sen tuottamien tuotteiden tai palveluiden markkinoiden kehittyminen, yrityksen asema markkinoilla ja ympäröivän yhteiskunnan asettamat vaatimukset.

VTT määritteli 2000-luvun alussa fyysisen omaisuuden hallinnan kattamaan ”fyysisen omaisuuden tuottavuuden, tuottokyvyn, turvallisuuden ja arvon ylläpitoon sekä parantamiseen liittyviä liiketoimintaperiaatteita ja teknologioita”. Tarkasteltavana omaisuutena ovat tällöin pääomavaltaisen teollisuuden ja palveluelinkeinojen prosessit, koneet, laitteet ja kiinteistöt sekä infraverkot kuten esimerkiksi energiaverkot.

2010-luvulla käynnistyi useampia omaisuuden hallintaan liittyviä standardointiprojekteja. Näiden tuloksena julkaistiin vuonna 2014 standardisarja ISO 55000, 55001 ja 55002 sekä EN 16646. Johdanto-osassa, ISO 55000 (2014), omaisuuden hallinta määritellään seuraavasti: ”organisaation koordinoitu toiminta, jolla hyödynnetään omaisuuden arvo”. Arvon hyödyntämiseen sisältyy tavallisesti kustannusten, riskien, mahdollisuuksien ja toiminnan tason (suorituskyvyn) punnitseminen.

EN 16646 (2014) *Maintenance within physical asset management* (Kunnossapito fyysisen omaisuuden hallinnan osana) määrittelee fyysisen omaisuuden hallinnan yhtä pelkistetysti: organisaation koordinoitu toiminta, jolla hyödynnetään fyysisen omaisuuden arvo. EFNMS (*European Federation of National Maintenance Societies*) määritteli fyysisen omaisuuden hallinnan konkreettisemmin: ”Fyysisen omaisuuden hallinta on optimaalista fyysisen omaisuuden elinjaksohallintaa, jonka tarkoituksena on kestäväällä tavalla saavuttaa asetetut liiketoiminnan tavoitteet”.

Fyysisen omaisuuden hallinta liittyy vahvasti organisaation strategiseen liiketoiminnan suunnitteluun:

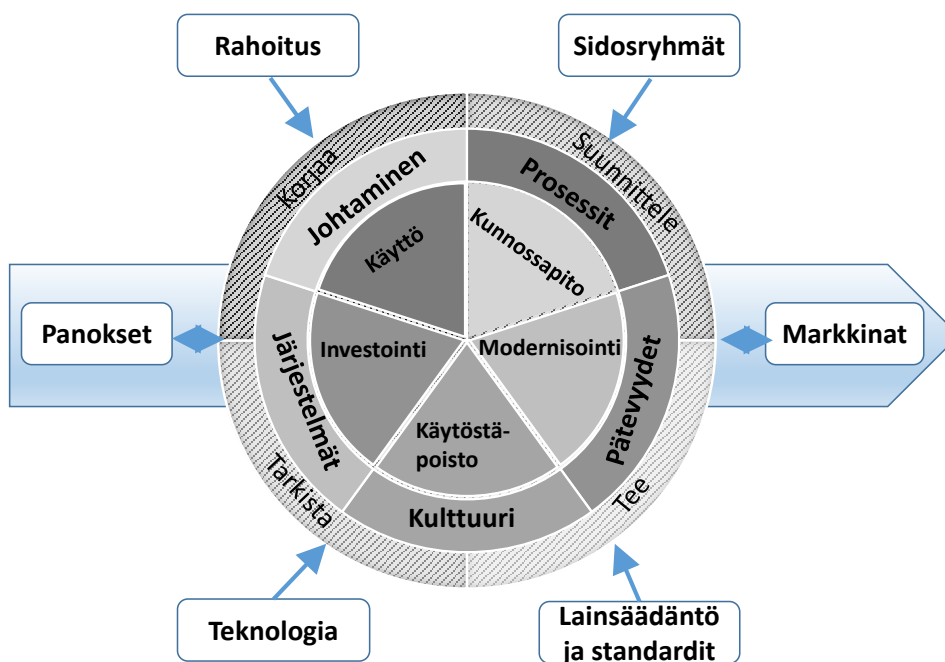
1. Kysymys on tuotantokapasiteetin luomisesta ja ylläpitämisestä sekä kehittämisestä strategian mukaisilla tuote- ja markkina-alueilla, oli sitten kysymys fyysisistä tuotteista tai palveluista, joiden tuottamiseen tarvitaan fyysistä omaisuutta.
2. Fyysisen omaisuuden hallinta käsittää kaikkia elinjakson vaiheet alkaen esisuunnittelusta (*feasibility study*), konseptisuunnittelusta ja teknologian valinnasta, yksityiskohtaisesta

- suunnittelusta aina käyttöön, kunnossapitoon (sisältäen myös parantavan kunnossapidon, korvausinvestoinnit ja modernisoinnit) ja käytöstä poistoon.
3. Fyysisen omaisuuden hallinta sisältää myös organisaation toimintatavat ja -periaatteet, jotka takaavat yhteisiin tavoitteisiin tähtäävän tuloksellisen toiminnan.
  4. Kehittyneet päätöksenteon, suunnittelun ja laskentatoimen menetelmät ovat oleellinen osa laadukasta omaisuudenhallintaa.

Omaisuuden hallinta sisältää kaikki elinjaksojohtamisen toimenpiteet, joiden avulla omistaja pyrkii saamaan pitkällä aikajänteellä ja kestäväällä tavalla mahdollisimman hyvän taloudellisen tuloksen. Teollisen tuotanto-omaisuuden hallinta tarkoittaa siis laitteiden kunnossapitoa laajempaa kokonaisuutta ja se kattaa kaikki tuotantojärjestelmiin liittyvät elinjakson vaiheet alkaen investointia edeltävästä kannattavuuden arvioinnista, valitusta ratkaisusta ja sen suunnittelusta aina käytöstä luopumiseen asti.

Tuotanto-omaisuuden hallinnan sisältö voidaan kuvata esimerkiksi alla olevan kaavion (Kuva 2.1) avulla. Ympyrän keskellä ovat laitteiston elinjakson vaiheet, seuraavalla kehällä omaisuuden hallintaa tukevat ja sen mahdollistavat osa-alueet. Ulommaisella kehällä on kuvattu yleiset toiminnan ja sen kehittämisen perusperiaatteet. Omaisuuden hallinta ei ole ympäristöstä eristäytynyttä toimintaa, vaan se on vuorovaikutuksessa useiden ympäristötekijöiden kanssa, kuten panoksia tuottavat organisaatiot, markkinat, sidosryhmät, rahoitusinstituutiot, lainsäätäjät, standardien laatijat ja teknologiatoimittajat.

Organisaation fyysinen omaisuudenhallinta toteutetaan omaisuudenhallintajärjestelmän avulla. Se kattaa koko kuvassa 2.1 esitetyn kentän. ISO 55001 (2014) on vaatimusstandardi, joka esittää hallintajärjestelmälle (johtamisjärjestelmälle) asetettavat vaatimukset. ISO 55001 vaatimusstandardin osalta vertailukohtana voisi pitää tutumpia laatu- ja ympäristöjohtamisen järjestelmiä (esim. SFS-EN ISO 9000, 2015; SFS-EN ISO 14001, 2015) sekä joiltain osin brittiläistä PAS 55-1 (2008) standardia, joka oli ensimmäinen kokonaisvaltaisesti käyttöomaisuuden hallintaan liittyvä standardi.



Kuva 2.1. Fyysisen omaisuuden hallinnan kenttä (Kortelainen & Komonen, 2016)

## Miksi tuotanto-omaisuuden hallinta on juuri nyt tärkeää

Pääomavaltaisen teollisuuden merkitys Suomen kansantaloudessa on suuri. Tähän voidaan löytää useita syitä. Pääomavaltaisen teollisuuden tuotannon ja viennin määrä lyhyellä sekä pitkällä aika-

jänteellä on merkittävä. Energiantuotanto, paperi- ja selluteollisuus, kemian teollisuus sekä metallien jalostus ovat tyypillisiä pääomavaltaisia teollisuudenaloja. Pääomavaltaiseen teollisuuteen rinnastettavia sektoreita ovat mm. yhteiskunnan infrastruktuurirakenteet, joista esimerkkinä mainittakoon sähkönjakeluverkostot, vesilaitokset, rautatiet ja satamat. Tuotantojärjestelmiin ja infrastruktuureihin sitoutuu rakennusvaiheessa merkittäviä pääomia ja niiden elinajan aikaisen tuotto-kyvyn turvaaminen edellyttää oikein ajoitettuja korvausinvestointeja ja modernisointeja sekä jatkuvaa kunnossapitoa. (Tämä luku perustuu pääosin Kunnossapidon vuosikirja 2019 esitykseen: Kari Komonen, 2019).

Esimerkiksi suuri osa infrastruktuuriverkoista on globaalisti rakennettu karkeasti ottaen samaan aikaan. Omaisuus ikääntyy vastaavasti. Yhtä lailla emme enää hyväksy samaa sähkö- ja vesiverkoston palvelutasoa, minkä hyväksyimme esimerkiksi 1900-luvun puolivälissä. Lisäksi näihin trendeihin tuotanto-omaisuuden järjestelmät useimmilla toimialoilla ovat kehityksessä entistä integroidummiksi ja monimutkaisemmiksi. Ikääntyminen, integraatio, monimutkaisuus ja lisääntyneet laatuvaatimukset yhdessä aiheuttavat kasvavan riskin yhteiskunnan näkökulmasta. Kasvava riski voi toteutuessaan aiheuttaa erittäin vakavia seurauksia kuten olemme viime aikoina uutisista kuulleet.

Euroopassa tuotanto-omaisuus on ikääntynyt, mikä on johtunut osittain uusinvestointien siirtymisestä Euroopasta Aasiaan. Toisaalta pitkään jatkunut heikko suhdanne hidasti pitkään korvausinvestointien ja modernisointien käynnistämistä Euroopassa. Useat sisäiset ja ulkoiset paineet lisäävät tarvetta korkeampaan tuottavuuteen ja tuotanto-omaisuuden käyttövarmuuteen. Samanaikaisesti kvartaalitalous johtaa ratkaisuihin tuotanto-omaisuuden osalta, jotka eivät ole tehokkaita pidemmällä aikajänteellä, vaan synnyttävät itseasiassa kasvavat tuotanto-omaisuuteen liittyvät kustannukset. Samoin tällainen epätoivottava toimintamalli voi johtaa tehottomaan pääoman käyttöön, matalaan fyysisen omaisuuden kiertonopeuteen. Teollisella sektorilla riskit ovat kasvaneet johtuen useiden yllä mainittujen tekijöiden ja trendien yhteisvaikutuksesta. Paineet yhä korkeampaan pääoman tuottoon sekä voimakkaat ja epäasianmukaisesti ohjaavat kannusteet saattavat johtaa vakavien liiketoiminta-, turvallisuus- ja ympäristöriskien toteutumiseen.

Nopeat ja jatkuvat muutokset kysynnässä, teknologiassa ja kilpailussa aiheuttavat turbulenssia liiketoimintaympäristössä, mikä yhdistettynä tuotanto-omaisuuden heikkoon joustavuuteen aiheuttaa haastavia päätöksentekotilanteita. Globalisaatiosta johtuva jatkuvasti lisääntyvä kilpailu lisää painetta yhä parempaan tuotantolaitteiston tehokkuuteen ja tuottavuuteen. Tämä pakottaa organisaatioita aikaistamaan korvausinvestointeja, parantamaan tuotannon OEE-tasoa, laitteiston käytettävyyttä ja käyttövarmuutta. Turvallisuus- ja ympäristövaatimukset aiheuttavat samanlaisia seurauksia. Tuotanto-omaisuus, joka oli tehokas ja jonka kuviteltiin oleva tuotantokykyinen vielä 20-30 vuotta eteenpäin, ei yllättäen olekaan enää kykenevä tuottaa myyntikelpoisia tuotteita.

Melko yleinen pääomavaltaisen teollisuuden globaali ongelma on ylikapasiteetti ja matala pääoman tuottoaste. Pääomantuottoastetta voidaan parantaa tuotantokustannuksia alentamalla tai paremmalla fyysisen pääoman kiertonopeudella. Fyysisen omaisuuden näkökulmasta nämä vaatimukset tarkoittavat dynamisesta ja jatkuvaa tuotanto-omaisuuden elinjakson hallintaa, optimaalista kapasiteetin rakentamista, parempaa tuotantolaitteiston kokonaistehokkuutta (OEE), luotettavuutta ja joustavuutta sekä matalampia kunnossapidon kustannuksia.

Tuotantojärjestelmiin sitoutuneen pääoman merkitys ja vaikutus järjestelmän tuottokykyyn ja yrityksen liiketoiminnallisten tavoitteiden saavuttamiseen vaihtelee toimialasta toiseen alalle tyypillisen ansaintalogiikan, alan menestystekijöiden, teknologisen kehityksen sekä markkinoiden käyttäytymisen mukaan. Yrityksien kehitysinvestointipäätöksiin tuottavuuden parantaminen, käyttöomaisuusoptioiden tehokas käyttö, tuotantolaitteiston kokonaistehokkuuden optimointi ja laitteiden käynnissäpidon kustannustehokkuus sekä palvelujen tehokas hyödyntäminen vaativat toimialakohtaisten liiketoimintatilanteiden vaikutusten selvittämistä.

Sisäisiä organisatorisia syitä fyysisen omaisuuden hallinnan ajankohtaisuuteen löytyy myös helposti. Viimeisten parin vuosikymmenen aikana organisaatioiden kokema merkittävä ongelma on ollut siilokäyttäytyminen. Organisaation eri toiminnot toimivat omien tavoitteidensa mukaisesti unohtaen samalla kokonaisuuden tarpeet. Nämä haasteet, monista yrityksistä huolimatta, eivät ole poistuneet. Omaisuuden hallinnan kehittämisen yksi päätavoitteista onkin siilokäyttäytymisen vähentäminen. Perustellusti voidaan sanoa, että systemaattisen, johdonmukaisen ja metodologisesti laadukkaan fyysisen omaisuuden hallinnan tarve on selkeästi olemassa. Tämä tarve on selkeästi

havaittavissa sekä yhteiskunnassa että liike-elämässä. Omaisuuden hallinnan sertifiointi on käynnistynyt ensin infrastruktuurisektorilla (lähinnä sähköverkot) hitaasti, mutta varmasti.

Yhteenvetona voimme listata seuraavia syitä fyysisen omaisuuden hallinnan ajankohtaisuuden perusteluksi (EN 16646, 2014):

- globalisaatio ja lisääntynyt kilpailu,
- kasvavat taloudelliset, turvallisuus- ja ympäristöriskit,
- merkittävä muutos liiketoimintastrategioissa – pitkä jänne vs. lyhyt jänne,
- fyysiseen omaisuuden hallintaan kohdistuvat asenteet ovat muuttuneet – nykyään entistä useammin omistusaajan pituus ei vastaa kohteen (laitteiston) koko elinikää,
- pääomavaltaisuuden lisääntyminen joillakin teollisuuden toimialoilla,
- kasvava turbulenssi markkinoilla,
- paine parantaa kannattavuutta ja pääoman tuottoastetta,
- fyysisten omaisuuskokonaisuuksien ikääntyminen,
- lisääntyvä paine parantaa kunnossapidon tuottamaa lisäarvoa,
- entistä monimutkaisempi ja epävarmempi päätöksentekoympäristö,
- kohonnut turvallisuuteen ja ympäristöön kohdistuvat vaatimukset,
- ”siilokäyttäytyminen” organisaatioissa, mikä pitää kunnossapidon ja muut elinjaksoprosessit erillisinä toimintoina.

## Tyypillisiä tuotanto-omaisuuden hallintaan liittyviä asiakokonaisuuksia

Tuotanto-omaisuuden hallinnan ja hallintajärjestelmän kehittäminen tuottaa organisaatiolle hyötyjä. Näitä hyötyjä ovat listanneet mm. ISO 5500x ja EN 16646 (2014) standardit. Parantunut fyysisen omaisuuden hallinta tarjoaa mm. METSTAn EN 16646 -koulutusmateriaalin mukaan (Komonen, 2016) paremman fyysisen omaisuuden tuottoasteen, paremman lyhyen ja pitkän aikajänteen kannattavuuden, paremman tyytyväisyyden eri sidosryhmissä (esimerkiksi asiakastytyväisyyden), vahvemman luottamuksen organisaation johtoon, matalamman turvallisuus- ja ympäristöriskin, laadukkaammat tuotteet ja palvelut, paremmin todennettavissa olevan organisaation kyvykkyyden sekä paremman suorituskyvyn ja tehokkuuden,

Hyödyt saadaan aikaan hoitamalla ja hallitsemalla entistä paremmin kaikkia fyysisen omaisuuden hallintaan kuuluvia asiakokonaisuuksia. Tyypillisiä asiakokonaisuuksia, joita tuotanto-omaisuuden hallinnassa joudutaan pohtimaan, ovat esimerkiksi

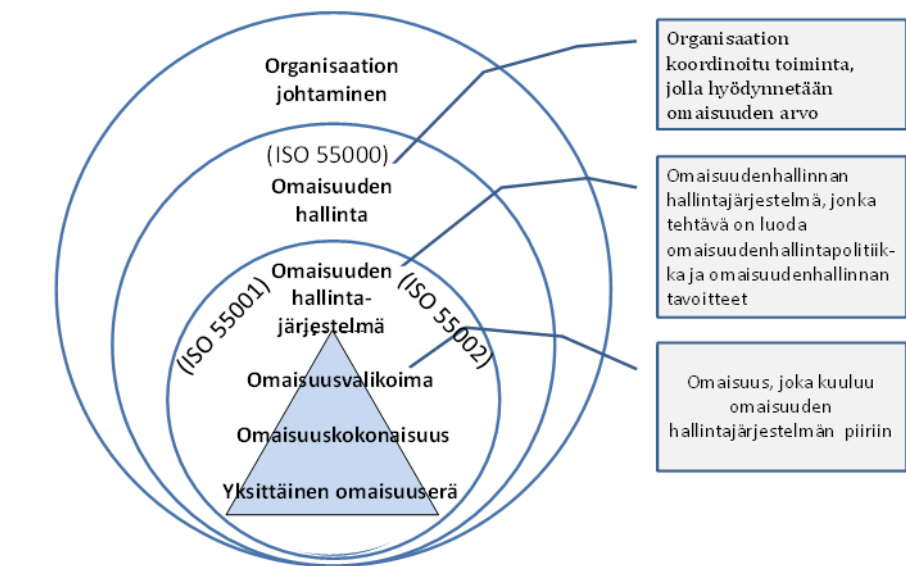
- organisaation toimintaympäristön analysointi ja strategisten suunnitelmien laatiminen
- johtamisjärjestelmien määrittely ja kehittäminen,
- kriittisten menestystekijöiden tunnistaminen ja niiden hallinta
- vaatimusten määrittely fyysiselle omaisuudelle
- fyysisen omaisuuden tehokas elinjakson hallinta sen kaikissa vaiheissa
- fyysisen omaisuuden hallinnan prosessien (sis. myös kunnossapidon) määrittely ja kehittäminen
- käyttövarmuuden hallinta (sis. kunnossapidon)
- suoritustason mittausjärjestelmän määrittely, käyttöönotto ja kehittäminen

Näiden asiakokonaisuuksien tehokas hallinta vaatii tehokasta epävarmuuden hallintaa, tuotantojärjestelmän mallintamista päätöksenteon perustaksi sekä tarvittavien pätevyyksien määrittelyä ja kehittämistä.

SFS-ISO 55001 (2014) Omaisuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. Vaatimukset -standardin rakenne kertoo, minkälaisia asiakokonaisuuksia standardi käsittelee:

- organisaation toimintaympäristö
- johtajuus
- suunnittelu
- tukitoiminnot
- toiminta
- suorituskyvyn arviointi
- parantaminen

Rakenne noudattaa kaikille ISO:n johtamisjärjestelmästandardeille määriteltyä sisältöä. ISO 5500x standardisarjan kokonaisuutta voidaan havainnollistaa oheisen kuvan avulla (Kuva 2.2).



Kuva 2.2. ISO 55001, 55001 ja 55002 sarjan rakenne (Komonen, 2016)

Tuotantomaisuu den hallinnassa on standardien mukaan kolme päätasoa: omaisuu s valikoima (*asset portfolio*), omaisuu skokonaisuus (*asset system*) ja yksittäin omaisuu s erä (*single asset*). Yksittäinen omaisuu s erä voi olla yksittäinen laite kuten pumppu, vaihde tai venttiili. Omaisuu skokonaisuus voi olla useasta yksittäisestä laitteesta koostuva laajempi laitekokonaisuus kuten osaprosessi, tuotantolinja tms. Omaisuu s valikoima sisältää useita omaisuu skokonaisuuksista kuten esimerkiksi tehdas tai useita tuotantolinjoja sisältävä tuotantolaitos. Se, mikä on kussakin organisaatiossa vallitseva määrittely, riippuu käytössä olevasta teknologiasta ja organisaation erityistarpeista. FprEN 17485 (2020) määrittelee eri omaisuu den hallinnan hierarkiatasot taulukon 2.1 mukaisesti. Standardin käyttämät yksityiskohtaiset tasot noudattavat standardia PSK 7102. 2008 (Tehdashierarkia).

Taulukko 2.1. Omaisuu den hallinnan tasot FprEN 17485 (2020) mukaan

	Hierarkiataso	Omaisuu s valikoima	Omaisuu skokonaisuus	Omaisuu s erä
1	Usean laitoksen / tehtaan muodostama kokonaisuus			
2	Laitos / tehdas			
3	Tuotantoyksikkö			
4	Tuotantolinja			
5	Prosessi			
6	Osaprosessi			
7	Toiminto			
8	Alitoiminto			
9	Laite			
10	Komponentti			
11	Osa			

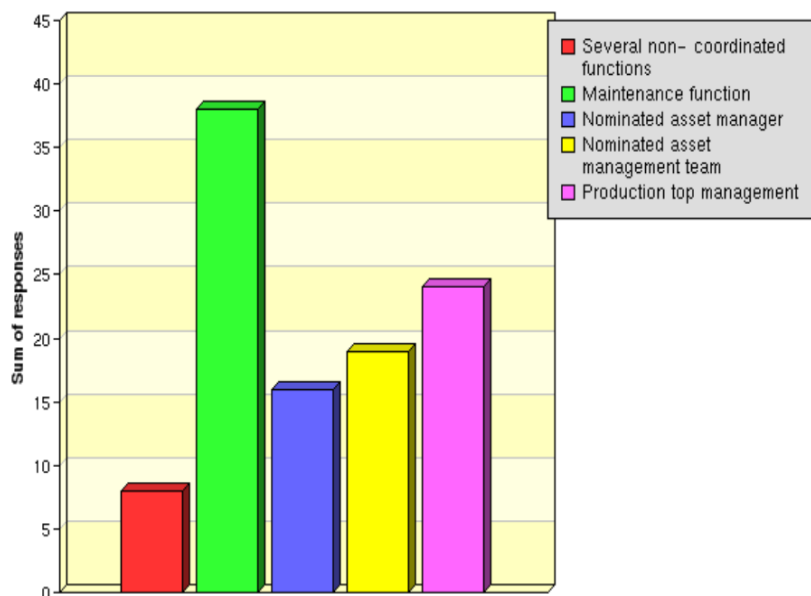
## Tuotanto-omaisuuden hallinnan vastuut organisaatioissa

Fyysisen omaisuuden hallinta vaatii monipuolista ja korkeatasoista osaamista (Tämä luku noudattaa pääosin Kunnossapidon vuosikirjan 2019 tekstiä: Komonen, 2019). Yleinen oletus on, että tuotanto-omaisuuden hallinnasta vastaa organisaation ”asset manager”. Joissakin organisaatioissa tällainen vastuuhenkilö onkin nimetty. ”Asset managerin” tehtävänä on tällöin kehittää fyysisen omaisuuden hallinnan käytäntöjä, menettelytapoja ja menetelmiä sekä toimia omaisuuden hallintaprosessin omistajana. Kuitenkin erittäin yleinen kansainvälinen käsitys on, että ”asset manager” on pikemmin organisaation funktio kuin nimetty henkilö. Asset manager -funktio voi olla henkilö, tiimi tai yhteistyökäytäntö tai -menettelytapa. ”Asset manager” funktiona voi kuulua esimerkiksi kunnossapito-, tuotanto-, suunnittelu- tai talousfunktioon tai jopa yleisjohtoon riippuen toimialan ja teknologian erityispiirteistä sekä yrityksen ominaisuuksista ja kehityssuunnitelmista. EFNMS selvitti kyselytutkimuksen avulla vuonna 2011, kuinka fyysisen omaisuuden hallinta oli organisoitu yrityksissä. Tulokset ovat suuntaa antavia ja osoittavat kuinka suuri merkitys teknologialla ja liiketoimintaympäristöllä on (Kuva 2.3).

Selvityksen mukaan kunnossapitofunktio oli usein taloudellisesti vastuussa fyysisen omaisuuden hallinnasta. Melko yleinen tilanne oli myös se, että päävastuun kantoi tuotantojohto. Lähes viidennes vastaajista oli nimittänyt tuotanto-omaisuuden hallintatiimin (*asset management team*) ja kuudennes ”asset managerin”. Vastaajat olivat hyvin erilaisista teknologiaympäristöistä ja liiketoimintaympäristöistä: infrastruktuurista prosessiteollisuuteen. Samoin omaisuuden tyyppillinen käyttöikä vaihteli suuresti.

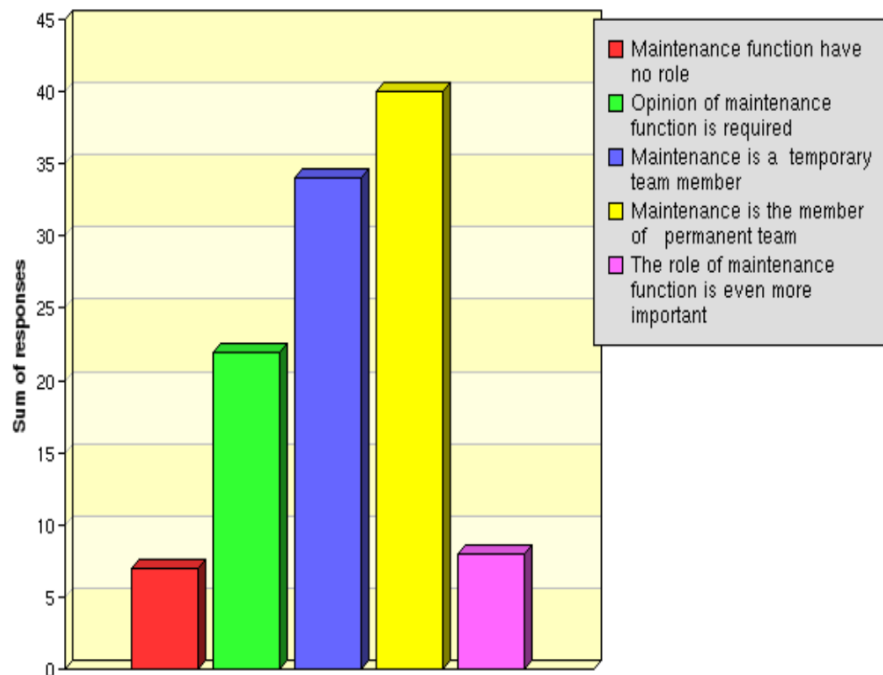
Kyselyssä haluttiin myös selvittää kunnossapitofunktion osallistumista omaisuuden hallinnan eri vaiheisiin. Kun kysymyksessä oli investoinnin tekninen suunnitteluvaihe (*design*), kunnossapito osallistui useimmiten suunnitteluun joko väliaikaisena tiimin jäsenenä tai vakinaisena jäsenenä. Kolmanneksi tyypillisin tapaus oli se, että kunnossapidon mielipidettä kysyttiin (Kuva 2.4).

Absolute distribution of the responses



Kuva 2.3. Fyysisen omaisuuden hallinnan organisointi (EFNMS / Komonen 2011)

### Absolute distribution of the responses



Kuva 2.4. Kunnossapidon rooli investoinnin teknisessä suunnittelussa (EFNMS, 2012; Komonen, 2012)

Laadukas tuotanto-omaisuuden hallinta vaatii useiden organisatoristen toimintojen -funktioiden- saumatonta yhteistoimintaa. Se on tuotannon, kunnossapidon, teknisen ja yrityssuunnittelun, investointisuunnittelun, talousfunktion ja yleisjohdon suunniteltua ja organisoitua yhteispelejä. On tärkeää muistaa, että tuotanto-omaisuuden hallinta ei koske vain johto- ja päällikkötasoa, vaan on jokaisen organisaatiossa työskentelevän henkilön asia. Näin ollen tärkeää, että henkilöstö ymmärtää fyysiselle omaisuudelle asetetut vaatimukset ja omaisuuden hallinnan tavoitteet ja periaatteet. Eri funktioiden välinen yhteistoiminta ja siilokäyttäytymisen vähentäminen vaativat yhteisten tavoitteiden lisäksi yhteisiä prosesseja, jossa jokaisella funktiolla on oma tehtävänsä muihin tehtäviin ymmärrettävästi linkitettyinä.

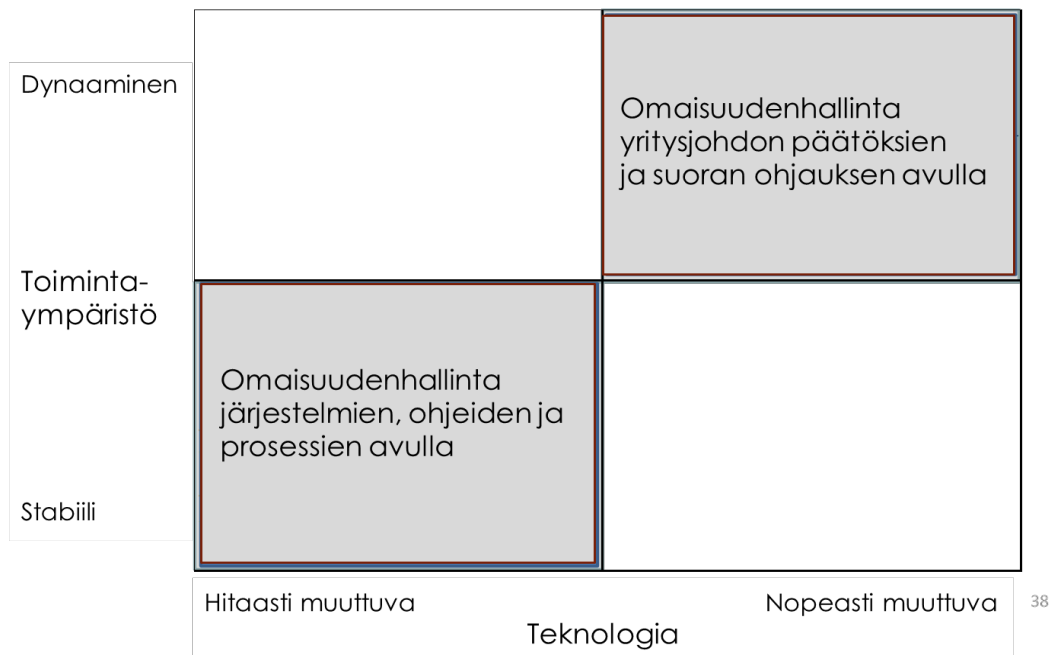
### Milloin omaisuuden ja elinjakson hallinta on erityisen tärkeää

Laadukkaan omaisuuden hallinnan ja hallintajärjestelmän sisältö ja painopisteet riippuvat organisaation teknologia- ja toimintaympäristöstä. Vaikka yritysjohdon hallintajärjestelmää koskevat valinnat riippuvat yksittäisen organisaation toiminta- ja teknologiaympäristöstä, organisaation strategisesta suunnitelmasta ja yritysjohdon näkemyksistä, voidaan joitakin yleisiä viitekehyksiä, suuntaviivoja ja valintoja tunnistaa.

Omaisuu den hallinta on luonnollisesti erittäin tärkeää organisaatioissa, joissa arvomuodostus on erityisesti sidoksissa tuotanto-omaisuuteen ja sen tehokkaaseen käyttöön. Useat infrastruktuurisektorit ja prosessiteollisuus ovat hyviä esimerkkejä tällaisista toimialoista. Siihen, miten omaisuuden hallinta organisoidaan ja mikä sen merkitys on, vaikuttavat myös muut toimintaympäristöä määrittävät tekijät.

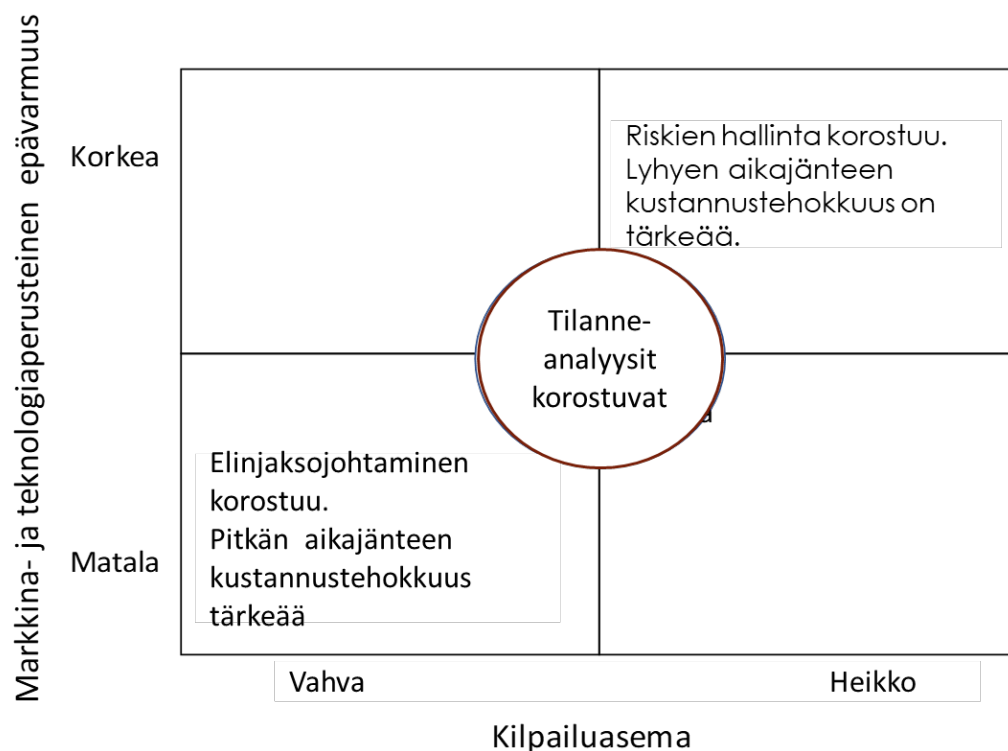
Tilanteessa, jossa teknologian ja toimintaympäristön (markkinoiden) muutokset ovat suuria ja nopeita, tuotanto-omaisuuden hallinta perustuu enemmän johdon päätöksiin ja suoraan ohjaukseen kuin tilanteessa, jossa teknologia ja toimintaympäristö muuttuvat hitaasti. Jälkimmäisessä tilanteessa fyysisen omaisuuden hallinta tapahtuu useimmin johtamisjärjestelmien, ohjeiden ja prosessien avulla (EFNMS asset management survey 2011). Edellä esitetty pelkistetty luokittelu on esitetty kuvassa 2.5. Tilannetta voidaan verrata esimerkiksi eroihin kriisitilannejohtamisen ja normaalitilanteen johtamisen välillä.





Kuva 2.5. Toimintaympäristön ja teknologian vaikutus fyysisen omaisuuden hallintajärjestelmään EFNMS:n selvityksen mukaan (EFNMS / Komonen, 2011)

Toiminta- ja teknologiaympäristöihin liittyvä epävarmuus vaikuttaa myös oleellisesti omaisuuden hallinnan keskeiseen osatekijään elinjaksojohtamiseen ja sen kiinnostavuuteen yrityksissä. Kun toiminta- ja teknologiaympäristöön liittyvä epävarmuus on suuri ja organisaation kilpailuasema on heikko, riskienhallinta ja lyhyen aikajänteen kustannustehokkuus korostuvat. Tilanteessa, jossa epävarmuus alhainen ja kilpailuasema on vahva, elinjaksojohtaminen on kiinnostavaa ja pitkän aikajänteen kustannustehokkuus tärkeää. Asteikkojen keskivaiheilla olevissa organisaatioissa laadukkaan tilanneanalyysin ja oikeaan osuvien johtopäätösten teko on erityisen tärkeää (Kuva 2.6).



Kuva 2.6. Toimintaympäristön epävarmuuden ja kilpailuaseman vaikutus fyysisen omaisuuden hallintaan

## Tuotanto-omaisuuden hallinnan yleisiä tavoitteita

Yleisellä tasolla voidaan sanoa, että Fyysisen omaisuuden hallinnan tavoitteena on tukea organisaatioita menestymään entistä paremmin kasvavien haasteiden keskellä. Näin ollen sen tavoitteena on auttaa organisaatioita määrittelemään jatkuvasti muuttuvassa toimintaympäristössä tuotanto-omaisuudelle asetettavat vaatimukset ja päivittämään näitä muuttuvien haasteiden mukaisesti. Edelleen omaisuuden hallinta auttaa organisaatioita löytämään parhaat tuotanto-omaisuuden hankintaan ja käyttöön ja ylläpitoon liittyvät ratkaisut. Huolellisesti määritellyt vaatimukset fyysiselle omaisuudelle varmistavat tilanteeseen sopivat ratkaisut, omaisuuden hallinnan strategiat ja suunnitelmat, jotka edelleen:

- tuovat paremman kannattavuuden
- paremman kilpailukykyyn,
- kestävän kehityksen ja
- oikean kehitystoimenpiteiden ajoituksen

Edellä esitettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi organisaatioiden on määriteltävä sekä käyttöön otettava omaisuudenhallintajärjestelmä ja tarpeen tullen kehitettävä sitä muuttuvien liiketoiminta- ja teknologiaympäristövaatimusten mukaisesti.

Kun organisaatiolla on haasteita tai ongelmia tuotanto-omaisuuden hallinnassa, katse usein kääntyy teknisiin asioihin ja niistä vastuussa oleviin henkilöihin. Usein haasteiden perimmäinen syy (juurisyys) ei ole teknisissä asioissa vaan aivan muualla. Perimmäinen syy haasteisiin voi olla esimerkiksi:

- Tekniset syyt: esim. uusi tai vanha teknologia, väärä spesifikaatio, laitteiden valinta ei noudata spesifikaatiota, huonosti hoidettu kunnossapito jne.
- Muutokset liiketoimintaympäristössä laitteiden hankinnan jälkeen
- Heikot päätöksenteon menettelytavat ja menetelmät
- Huonosti ymmärretyt markkinoiden vaatimukset
- Puutteellinen kompetenssi
- Heikosti määritelty ja/tai epäonnistuneesti käyttöön otettu omaisuuden hallintajärjestelmä

Usein perimmäinen syy ongelmiin onkin viimeinen listalla eli johtamisjärjestelmä, vaikka vika näyttäisikin nopeasti vilkaisten olevan muualla.

Omaisuuden hallintajärjestelmän yksi merkittävimpiä tavoitteita on varmistaa johdon ja nimettyjen vastuuhenkilöiden tukema suunnitelmallinen, järjestelmällinen ja pitkäjänteinen omaisuuden hallinta, ”siilokäyttämisen” vähentäminen organisaatiossa sekä suorituskyvyn arviointiin perustuva jatkuva parantaminen.

Fyysisen ominaisuuden hallinnan erityisissä tavoitteita voidaan tarkastella menettelytapojen ja menetelmien näkökulmasta, jonka avulla omaisuuden hallinta toteutetaan. Laadukas omaisuudenhallinta entistä vaativammassa kilpailutilanteessa vaatii entistä parempia omaisuudenhallintamenetelmiä. Menestyneet organisaatiot käyttävät analyyttisesti kehittyneitä ja testattuja menetelmiä. Vähintäänkin organisaatioiden johto ymmärtää, mitä haasteita päätöksenteko sisältää. Ohessa muutamia huomioitavia asioita ja toimintamalleja, jotka osaltaan voivat varmistavat laadukkaan omaisuudenhallinnan:

- ulkoisten ja sisäisten vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen, jotka ovat oleellisia fyysisen omaisuuden hallinnassa ja kunnossapidon johtamisessa
- näiden vaikutusten huomioon ottaminen päätöksenteossa ja suunnittelussa
- tuotanto-omaisuuden hallinnan ja kunnossapidon johtamisen integrointi
- elinjaksojohtamisen edistäminen normaalina toimintamallina ja kestävän kehityksen osana
- siilokäyttämisen vähentäminen omaisuuden hallinnassa ja yhteistyön kehittäminen (tämä pitää sisällään myös ulkoistamistapaukset)
- läpinäkyvyyden edistäminen koko organisaatiossa
- visualisoinnin edistäminen tehokkaana työkaluna omaisuuden hallinnassa sekä
- epävarmuuden hallinnan ja simuloinnin edistäminen eri vaihtoehtojen ja päätösten vaikutuksia arvioitavissa.

## Keskeiset opit

- Fyysisen omaisuuden hallinta on tuotanto-omaisuuden elinjakson hallintaa ja sitä tukevien johtamisjärjestelmien ja organisaation kehittämistä.
- Organisaatioympäristöt muuttuvat yhä vaativammaksi, ennalta arvaamattommaksi ja muutosnopeus kasvaa.
- Organisaatio- ja teknologiaympäristö vaikuttavat johtamisjärjestelmiä koskeviin perusvalintoihin. Stabiiliympäristö ja hyvä kilpailukyky vaativat erilaista johtamisotetta kuin dynaaminen ympäristö ja huono kilpailukyky.

## 2.2

### STRATEGISEN OMAISUUDEN HALLINNAN MENETELMÄT

*Kari Komonen*

#### Joustavuus ja epävarmuus

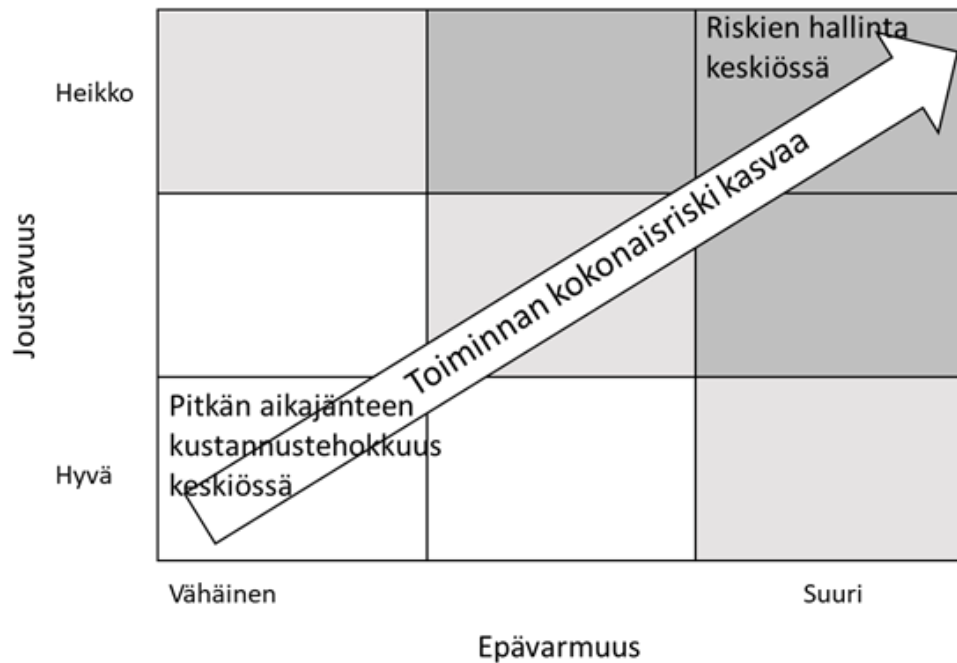
Organisaatio voi kompensoida epävarmuuden joustavuudella. Mitä joustavampi organisaation on, sitä paremmin se pystyy selviytymään vaikeasti ennakoitavissa olevista muutoksista organisaatioympäristössä. Valitettavasti suuri epävarmuus ja hyvä joustavuus eivät kulje aina käsikädessä. Tuotantosysteemin joustavuus voi olla esimerkiksi:

- volyymijoustavuutta ylöspäin (tuotantokapasiteetin kasvattaminen alhaisin kustannuksin)
- volyymijoustavuutta alaspäin (tuotannon vähentäminen pienin kustannuksin)
- tuotejoustavuutta (tuotteen vaihtaminen matalin kustannuksin)
- kysynnän vaihteluun sopeutumista matalin kustannuksin
- kriittisten menestystekijöiden muutokseen sopeutumista matalin kustannuksin
- materiaalioustavuutta (kyky sopeutua raaka-aineissa esiintyvään vaihteluun)
- teknistä robustisuutta ("vikasietoa", esimerkiksi prosessikahdennuksia)

Suuri joustavuus kompensoi markkinaperusteista, teknologiaperusteista ja kilpailukyky perusteista epävarmuutta. Vastaavasti heikko joustavuus voi vahvistaa epävarmuuden vaikutusta, koska tulevaisuuden epätoivottujen kehityskulkujen tapauksessa tarve parantaa, modifioida tai modernisoida tuotanto-omaisuutta kasvaa, mikä taas aiheuttaa odottamattomia kustannuksia (Kuva 2.7).

Jos muutos yritys ympäristössä aiheuttaa merkittävän muutoksen tuotteen kysynnässä tai merkittävän muutoksen kriittisissä menestystekijöissä, taloudelliset menetykset ovat todennäköisiä johtuen siitä, että alkuperäinen investointi ei ole vielä maksettu takaisin tai että uuteen markkinatilanteeseen vastaaminen vaati mahdollisesti uusia investointeja. Tuotantojärjestelmän joustavuus, kuten volyymijoustavuus, tuotejoustavuus tai raaka-ainejoustavuus voivat kompensoida mahdolliset tappiot. Esimerkiksi pienin tehokas mittakaava tai laajennusinvestointi vaikuttavat oleellisesti tuotantoyksikön volyymijoustavuuteen. Mitä matalampi on pienin tehokas mittakaava tai laajennusinvestointi, sitä suurempi on volyymijoustavuus. Tässä yhteydessä mahdollisuus myydä vanha tuotantolaitteisto on myös merkittävä kysymys. Mitä helpompaa ja kannattavampaa laitteiston edelleen myynti on, sitä joustavampi tuotantoyksikkö on (tähän palataan myöhemmin uudestaan).

Tämä ajattelutapa eroaa perinteisestä riskien hallinnan viitekehyksestä siinä, että se ei perustu specifisten tapahtumien riskitarkasteluun, niiden todennäköisyyksiin ja seurausten vakavuuteen, vaan yleisen organisaatioympäristön riskitason määrittelyyn, jotta voidaan ymmärtää sen aiheuttamat seuraukset organisaation omaisuuden hallintaan ja omaisuusratkaisuihin.



Kuva 2.7. Toimintaympäristön epävarmuuden ja joustavuuden vaikutus fyysisen omaisuuden hallintaan

## Epävarmuuteen vaikuttavista tekijöistä

Useat ulkoiset vaikuttavat tekijät ovat ainakin osittain organisaatioiden vaikutusvallan ulkopuolella. Tällaisia tekijöitä voivat olla esimerkiksi seuraavat:

- lainsäädäntö
- ympäristö- ja turvallisuusvaatimukset
- yleinen taloustilanne
- poliittiset olosuhteet
- poikkeukselliset tapahtumat
- teknologinen kehitys
- markkinoiden muutokset

Markkinoilla ja teknologisessa kehityksessä vallitsevan epävarmuuden määrittely ja ymmärtäminen ovat organisaation johdon avaintehtäviä. Markkinoilla vallitseva turbulenssi on esimerkiksi seuraavien tekijöiden funktio:

- alalle tulon esteet
- kuluttajapreferenssien muuttuminen
- investoijien käyttäytymismuutokset
- eri markkina-alueilla tapahtuvat muutokset
- teollisen toimeliaisuuden muutokset
- tuotteiden substituuttien hintamuutokset
- kyseessä olevan tuotteen elinkaaren vaihe

Teknologiseen muutokset nopeuteen vaikuttavat esimerkiksi seuraavat tekijät:

- eri maiden innovaatiotekniikoiden muuttuminen (esimerkiksi rahoitus)
- innovaatioiden määrän muutokset
- taloudelliset markkinoille tulon esteet
- teknologiset markkinoille tulon esteet
- eri toimijoiden väliset know-how-kuilut
- taloudelliset hitausvoimat (esimerkiksi pääomavaltaisuus)
- pienin tehokas mittakaava tai laajennusinvestointi

Vaikka edellä mainitut tekijät ovatkin suurelta osin johdon vaikutusvallan ulkopuolella, yritykset eivät ole passiivisia toimijoita, vaan voivat aktiivisesti pyrkiä vaikuttamaan sekä yhteiskuntaan, markkinoihin ja teknologiseen kehitykseen. Mitä suurempi on yrityksen vaikutusvalta, sitä pienempi on luonnollisesti yritys ympäristössä vallitseva epävarmuus.

## Joustavuuteen vaikuttavia tekijöitä

Joustavuuteen vaikuttavat tekijät voivat olla organisaation strategiseen suunnitelmaan liittyviä, ne voivat olla liiketoimintalogiikkaan liittyviä tai teknologisia tekijöitä. Organisaation strategiseen suunnitteluun liittyvät joustavuuteen vaikuttavat tekijät voivat tarkoittaa ympäristömuutoksille mahdollisimman robustin strategian valintaa (tästä aiheesta myöhemmin lisää kappaleessa 2.6) ja laatimalla laadukas toipumissuunnitelma. Liiketoimintalogiikkaan liittyvät voivat tarkoittaa esimerkiksi yrityksessä noudatettavia investointikäytäntöjä, kuten reaaliopitoiden käyttö, joustavat ympäristön ominaisuuksien mukaan muuttuvat käytännöt tai teknologisiin valintoihin liittyvät tekijät.

Joustavuus mittaa epävarmuuden vaikutuksen voimakkuutta. Kyseessä olevalla organisaatiolla on valittavissaan kaksi päästrategiaa: 1) lieventää seurauksia esimerkiksi vähentämällä investointeja tuotanto-omaisuuteen (esimerkiksi parantamalla kunnossapitoa investointien sijasta) tai 2) parantamalla muunneltavuutta esimerkiksi reaaliopioilla, alentamalla tuotanto-omaisuuden spesifisyyttä tai investoimalla teknologiseen johtajuuteen. Joustavuus liittyy mm. seuraaviin tekijöihin

- laitteiston hyödyllisen eliniän pituus
- investointialttius (esimerkiksi korvausinvestoinnit, laajennusinvestoinnit ja muutosten investoinnit)
- investointikriteerit (laskentamenetelmät)
- tehokkaat kunnossapitostrategiat (parantava kunnossapito, kunnonvalvontainvestoinnit ja suurkorjaukset)
- korvaa- tai kunnossapidä-päätökset
- ulkoistamispäätökset

## Reaaliopit

Reaaliopit ovat investointeja, jotka tehdään nyt, vaikka niitä ei nyt tarvita, koska reaaliopion hyödyntäminen alentaa kustannuksia ja lisää ratkaisun joustavuutta silloin, kun reaaliopio käytetään. Silloin kun reaaliopioon investoidaan, se kuitenkin lisää investointikustannuksia, mutta jos reaaliopio hyödynnetään sopivassa aikaikkunassa, se alentaa kokonaiskustannuksia. Reaaliopion hyödyntäminen liittyy siis läheisesti epävarmuuden hallintaan. Jos esimerkiksi rakennettaessa 2-kaistaista tietä silta rakennetaan 4:n kaistan levyiseksi, koska on olemassa suunnitelma leventää tie tulevaisuudessa 4-kaistaiseksi. Näin luodaan reaaliopio, joka on taloudellisesti järkevä, jos tie levennetään ja jos lisäksi levennys tapahtuu vielä taloudellisesti tehokkaassa aikaikkunassa. Toisaalta reaaliopio heikentää joustavuutta, koska siinä tapauksessa, että reaaliopiota ei voida käyttää esimerkiksi kysynnässä tapahtuvan muutoksen takia, lisäinvestointi on hyödytön.

Taulukko 2.2. Esimerkki reaaliopitiosta

	Investointi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vaihtoehto 1	100						100				
Vaihtoehto 1 vuosikustannukset		10	10	10	10	10	0	12	12	12	12
Vaihtoehto 1 kumulatiivinen kokonaiskustannus		110	120	130	140	150	250	262	274	286	298
Vaihtoehto 2	100										
Vaihtoehto 2 reaaliopio	50										
Vaihtoehto 2 vuosikustannukset		12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Reaaliopion laskennallinen korko	5,0 %	2,50	2,63	2,76	2,89	3,04	3,19	3,35	3,52	3,69	3,88
Vaihtoehto 2 kumulatiivinen kokonaiskustannus		164,5	179,1	193,9	208,8	223,8	239,0	254,4	269,9	285,6	301,5
Tod.näk. reaaliopion käyttöäönotolle	0-1						1				

Taulukossa 2.2 on esitetty esimerkki yksinkertaistetusta reaaliopliolaskelmasta. Vaihtoehto 1 on investointi ilman reaaliopliota. Investointi ja seuraavalla rivillä olevat vuosikustannukset on esitetty ilman diskonttausta nykyhetkeen ja ilman mahdollisia rahanarvon muutoksia. Investoija on arvioinut, että tarve esimerkiksi laajennusinvestointille on vuonna 6. Tällöin lisäinvestointi maksisi 100 rahayksikköä. Vaihtoehto 2:ssa perusinvestointi on myös 100 rahayksikköä, mutta tulevaisuuden mahdollinen laajennusinvestointitarve on huomioitu ja sen kustannus on tässä yhteydessä suoritettuna 50 rahayksikköä. Vuosikustannukset ovat hieman suuremmat kuin vaihtoehdossa 1 laajemmasta omaisuusmassasta johtuen. Reaaliopliolle on esimerkissä laskettu korkokustannuksia 5 %:n mukaan, koska reaalioplio on kustannus, jota ei juuri nyt tarvittaisi. Kun verrataan kummakin vaihtoehdon kumulatiivisia kokonaiskustannuksia, voidaan todeta, että jos reaalioplio otetaan käyttöön vuonna 6, reaalioplio on kannattava. Mitä pidemmälle reaaliopliion käyttö siirtyy, sitä vähemmän kannattava se on. Reaaliopliion käytön kannattavuus riippuu luonnollisesti käytetystä korkokannasta, kyseessä olevan organisaation likviditeettitilanteesta, reaaliopliion tarpeellisuuteen liittyvästä epävarmuudesta sekä vaihtoehtoisista investointikohteista.

### ***Investoinnit ja joustavuus***

Tilanteessa, jossa organisaatioympäristöön ja teknologiseen kehitykseen liittyy paljon epävarmuutta, voidaan joustavuutta yrittää lisätä välttämällä investointeja joustamattomaan teknologiaan ja ottaa käyttöön muita vaihtoehtoja (*non-asset solutions*). Tällaisia vaihtoehtoja voivat olla tuotannon alihankinta, laitteiden liisaus, investointi vain vaihtoehtoihin, joiden takaisinmaksuaika mahtuu vähemmän epävarman aikahorisontin sisälle, päätöksen siirtäminen myöhemmään ajankohtaan tai uuden tuotestrategian muuttaminen. Jos kysymyksessä on käynnissä oleva laitos, korvausinvestoinnin sijasta voidaan jatkamaan vanhan laitteiston elinjaksoa.

### ***Teknologinen tuotejoustavuus***

Käytössä oleva teknologia voi olla monikäyttöistä siten, että muutokset tuotevalikoimassa ovat teknisesti helppoja ja halpoja. Teknologia voi myös sallia laajan tuotevalikoiman tuotannon. Nämä kaksi joustavuuden lähdettä pienentävät organisaation kohtaaman epävarmuuden vaikutusta.

Tuotantolaitteisto koostuu omaisuuskokonaisuuksista, joiden spesifisyys/standardisuus vaihtelee. Toisaalta näiden omaisuuskokonaisuuksien vaikutus yrityksen tuotteen valmistukseen vaihtelee myös. Tuotemuunnos voi vaatia koko tuotantoprosessin uusimista tai vain jonkin kriittisen omaisuuskokonaisuuden korvaamista uudella laitteistolla. Tuotantolaitteiston muunneltavuus luo joustavuutta fyysiselle omaisuudelle pienten tai keskinkertaisten tuoteparannusten tai muutosten tapauksissa. Fyysisen omaisuuden muunneltavuus on seurausta seuraavista tekijöistä:

- tuotanto-omaisuuden spesifisyys (*asset specificity*),
- omaisuuskokonaisuuden jälleenhankinta-arvo (JHA) ja
- vaadittavan investoinnin arvosta.

Yhdessä nämä tekijät indikoivat muutoksen vaatiman investoinnin hintaa ja vanhasta laitteistosta luopumisen kustannuksia. Tuotanto-omaisuuden spesifisyys kertoo, kuinka standardi ja myytävissä oleva kyseessä oleva omaisuuskokonaisuus on. Vaadittavan investoinnin arvo indikoi, kuinka saavutettavissa oleva muutos taloudellisesti on. Yhdessä omaisuuskokonaisuuden spesifisyys ja investoinnin arvo antavat tietoa siitä, kuinka saavutettavissa oleva hankinta on ja mikä on sen kustannus. Korkea spesifisyys ja korkea hankintakustannus tarkoittavat matalaa muunneltavuutta.

### ***Volyyimijoustavuus***

Kuvassa 2.8 on esitetty yksinkertaistettu kuvaus eräiden teknologisten tekijöiden vaikutuksesta fyysisen omaisuuden hallinnan strategioihin ja toimintatapoihin. Toisaalta nämä tekijät vaikuttavat oleellisesti kyseessä olevan tuotantoprosessin volyyimijoustavuuteen. Nämä tekijät ovat vertikaaliakselilla tuotannon rakenne (integraatioaste), tuotannon menetyksen kustannus per aikayksikkö, pienin tehokas tuotantolaitoksen koko ja/tai pienin tehokas laajennusinvestointi sekä vaakakselilla tuotantoteknologian standardisuus ja realisoitavuus.

			Tuotantoteknologia		
Tuotannon rakenne	Tuotannon menetyksen kustannus/aikayksikkö	Pienin tehokas koko tai pienin tehokas laajennus-investointi	Standardi	Semi-standardi ja rajoitettu realisointimahdollisuus	Yrityskohtainen (asset specific)
Jatkuva virtaus	Korkea yksikkökustannus	Suuri, porrasmainen			
Epäjatkuvavirtaus	Keskitasoa oleva yksikkökustannus	Välimuoto			
Työpaja	Matala yksikkökustannus	Pieni, portaaton			

Fyysisen omaisuuden merkitys kasvaa. Pitkän tähtäyksen kustannustehokkuus korostuu ja joustavuus vähenee. Taloudellinen riski ja alalle tulon esteet kasvavat. Tarve korkealle käytettävyydelle ja O:lle kasvaa. Kunnossapidolle asetettavat vaatimukset kasvava ja suunnitellulle kunnossapidolle lisääntyvät.

Kuva 2.8. Tuotantojärjestelmän vaikutus omaisuuden hallintaan (Komonen, 2019)

Kuvassa semi-standardin teknologian yhteydessä esiintyvä rajoitettu realisointimahdollisuus tarkoittaa sitä, että vaikka kyseessä olevaa teknologiaa on markkinoilta saatavissa, sen tarpeen mukainen muunneltavuus uuden omistajan tarpeisiin on rajoitettua ja toisaalta kilpailustrategisista syistä sitä ei välttämättä haluta myydä, vaan se mieluummin romutetaan, jotta kapasiteetti markkinoilla vähenisi.

Kun siirrytään työpajatyypisestä tuotannosta virtaustyyppiseen tuotantoon, samalla useimmiten mahdollisuus volyymimuutoksiin muuttuu. Virtaustyyppiseen tuotantoon liittyy suuri ja porrasmainen pienin tehokas laajennusinvestointi, mikä merkitsee heikkoa/kallista volyymijoustavuutta. Toisaalta myös prosessin muunneltavuus on kallista ja vaativaa. Toisessa ääripäässä tyypillistä on portaaton laajennusmahdollisuus, mikä tarkoittaa hyvää ja halpaa volyymijoustavuutta. Toisaalta myös prosessin muunneltavuus (tuotejoustavuus) voi olla edullista ja helpohkoa. Edellisten lisäksi on luonnollisesti muitakin teknologisia tekijöitä, jotka vaikuttavat prioriteetteihin ja valittuihin toimintatapoihin kuten mm. tuotantosysteemin käyttövarmuusominaisuudet.

Taulukossa 2.3 on esitetty yksinkertaistettu versio kuvasta 2.8. Tällä viitekehyksellä voidaan karkealla tasolla tarkastella, milloin investointiratkaisu on parempi vaihtoehto kuin toiminnan tehostaminen. Sitä voidaan soveltaa myös tuotannon ulkoistamisesta tehtävien päätöksen pelkistettyyn tarkasteluun. Suuren minimi-investoinnin ja porrasmaisen laajennuksen tapauksessa kysymys on usein integroidusta tuotantojärjestelmästä ja päinvastaisessa tapauksessa työvoimavaltaisesta teollisuudesta. Integroidun laitoksen tapauksessa on usein kannattavaa lisätä kapasiteettia parantamalla OEE:n tasoa, parantavalla kunnossapidolla tai prosessimodifikaatioilla.



Taulukko 2.3. Tuotantojärjestelmän vaikutus investointipäätöksiin, eräs viitekehys (Komonen ym. 2012; Komonen, 2019)

		Teknologia	
		Standardi	Spesifi
Pienin tehokas koko tai pienin tehokas laajennusinvestointi	Suuri, porrasmainen	Standardi prosessi. Alihankintaa saatavilla. Alihankinta saattaa olla hyvä ratkaisu, etenkin jos kapasiteettitarve on pienempi kuin minimi-investointi tuottaa. Tuotanto-omaisuuden myyminen on mahdollista. Korkea OEE-taso ja prosessimodifikaatiot tärkeitä, jos alihankinta ei ole kannattavaa.	Yrityskohtainen prosessi. Omaisuuden myynti vaikeaa. Alihankinta vaikeaa. Laajennusinvestoinnit voivat sisältää riskejä. Tuotteen tai laitteiston elinjakson vaihe vaikuttaa päätökseen. Korkea OEE ja prosessiparannukset ovat erittäin tärkeitä.
	Pieni, portaaton	Standardi laitteisto. Laitteiston myynti mahdollista. Alihankinta tai investointi mahdollisia OEE:n parannuksen tai investoidun lisäkapasiteetin hinta määrittää ratkaisun.	Yrityskohtainen laitteisto. Laitteiston myynti voi olla vaikeaa. Alihankinta voi olla vaikeaa. Kapasiteetin lisääminen investoinnein on vähäriskistä

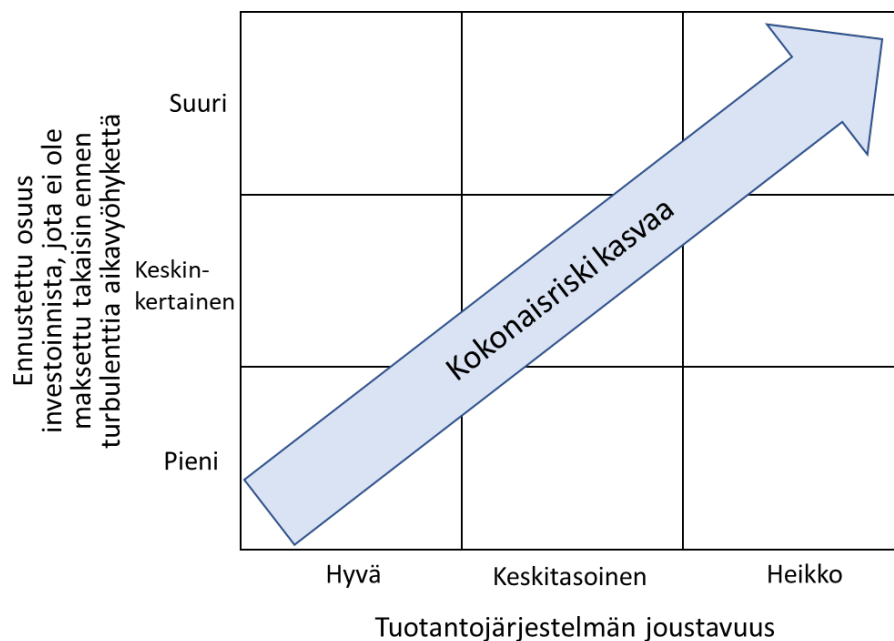
## Epävarmuus, aikajänne ja riskinsietokyky

Jos liiketoimintaympäristön muutos aiheuttaa kysynnän oleellista vähentymistä tai merkittäviä muutoksia tuotteelta vaadituissa ominaisuuksissa tai kriittisissä menestystekijöissä, taloudelliset menetykset ovat ilmeisiä, koska tuotanto-omaisuuteen tehdyt investoinnit eivät ole ehkä vielä maksaneet itseään takaisin tai koska uusia investointeja vaaditaan uusien tuotteiden valmistamiseen tai menestystekijöiden vaatimusten toteuttamiseen. Tuotantojärjestelmän joustavuus (volyyminjoustavuus, tuotejoustavuus tai materiaalinjoustavuus) voivat kompensoida muutoksen aiheuttamat menetykset. Pienin tehokas mittakaava määrittää merkittävästi tuotantolaitoksen volyyminjoustavuuden. Mitä pienempi pienin tehokas mittakaava on, sitä joustavampi tuotantoyksikkö on. Edelleen mitä helpompaa ja kannattavampaa vanhan laitteiston jälleenmyynti on, sitä joustavampi tuotantoyksikkö on.

Liiketoimintaympäristöön liittyvän epävarmuuden oleellinen ulottuvuus on aikajänne ja epävarmuus aikajänteen funktiona. Tässä yhteydessä esitellään myös käsite ”osuus investoinnista, jota ei ole maksettu takaisin ennen turbulenttia aikajännettä”. Epävarmuutta voidaan tarkastella suhteessa kriittisiin menestystekijöihin. Samoin epävarmuus riippuu aikajänteestä ja muutosnopeudesta. Yleisellä tasolla on mahdollista erottaa kolme erilaista aikavyöhykettä, joilla erilainen vaikutus omaisuuden hallintaan ja investointipäätöksiin. Nämä aikavyöhykkeet kriittisten menestystekijöiden ja tuotteen kysynnän näkökulmasta ovat (Stacey, 1990 muunnoksia):

1. tunnettu vyöhyke (esimerkiksi toistuvat transaktiot, tiedossa oleva tilauskanta, uusia toimintalupia ei ole myönnetty muille toimijoille)
2. ennustettavissa oleva, todennäköisen tulevaisuuden aikavyöhyke (esimerkiksi aikasidonaiset alalle tulon esteet tunnettu, tuotekehityksen aikavaatimukset tunnetaan, kysynnän kehitys tunnetaan)
3. epäjatkuvuus, turbulentti vyöhyke (ei ennustettavissa oleva)

Aikavyöhykkeiden pituus riippuu tarpeista, joita palvelu tai tuote tyydyttää. Esimerkiksi perustarpeita tyydyttävien tuotteiden tarjonta kuten ruokatarvikkeet, asuminen, ja energian kulutus ei muutu yhtä nopeasti kuin informaation tuotanto, täydennyskoulutustarpeet tai muotisisidonnaiset markkinat. Muutokset voivat johtua tuotteiden kysynnässä tapahtuvista muutoksista ja ovat tällöin merkki kuluttajien preferenssien muutoksista tai muutoksista liiketoimintamahdollisuuksissa (*pulling impact*). Muutos voi johtua myös teknologisen kehityksen tarjoamista uusista tuotteista ja palveluista tai entistä tehokkaammista tuotantoprosesseista ja logistisista prosesseista (*pushing impact*). Kahden ensimmäisen aikavyöhykkeen pituutta voi kasvattaa taloudelliset hitausvoimat, jotka johtuvat kilpailijoiden vaikeuksista saada hankkeille rahoitusta, investoinnin liian korkea riski suhteessa arvioituun takaisinmaksuaikaan tai liian korkea riski suhteessa kilpailijan riskinsietokykyyn. Tämän vuoksi kolmen edellä mainitun aikavyöhykkeen pituudet eroavat riippuen tuotteesta, markkinasta ja käytöstä olevasta teknologiasta. Kuvassa 2.9 on havainnollistettu tuotantojärjestelmän joustavuuden ja edellä mainittujen aikavyöhykkeiden yhteisvaikutusta organisaation suorittaman investoinnin riskitasoon.



Kuva 2.9. Joustavuuden ja eri epävarmuuden aikavyöhykkeiden vuorovaikutus

Edellä esitetty viitekehyksen perusteella voidaan määritellä myös investointeihin liittyvää riskiä mitaavia tunnuslukuja:

1. Ennustettu osuus investoinnista, jota ei ole maksettu takaisin tunnetun aikavyöhykkeen aikana (euroa)/organisaation riskinsietokyky (euroa)
2. Ennustettu osuus investoinneista, jota ei ole maksettu takaisin ennen turbulenttia aikavyöhykettä (euroa)/organisaation riskinsietokyky (euroa).

Viitekehyksillä on merkittäviä vaikutuksia yrityksen tuotanto-omaisuusratkaisuihin, tuotanto-omaisuuden hallintaan ja omaisuuden hallintajärjestelmään. Näitä vaikutuksia ovat mm.:

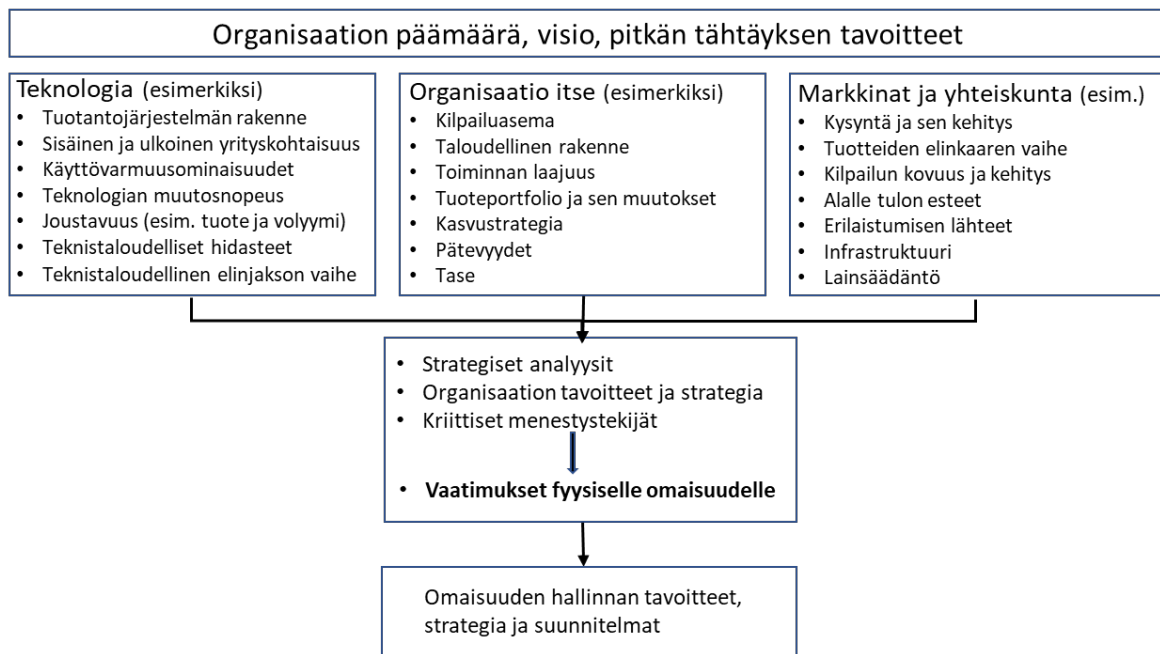
- tarve arvioida tuotanto-omaisuusratkaisuiden joustavuusvaatimukset
- tarve määritellä organisaation liiketoimintatilanteeseen sopiva liikkeenjohdollinen lähestymistapa, johtamisfilosofia (esimerkiksi elinjaksojohtaminen)
- tarve arvioida ja määritellä omaisuuskokonaisuuksien hyödyllinen elinikä
- motiivi jatkaa omaisuuskokonaisuuksien jäljellä olevaa elinikää
- tarve määritellä huolellisesti investointien päätöskriteerit ja laskentamenetelmät
- tarve arvioida systemaattisesti modifikaatioiden kannattavuuteen vaikuttavat tekijät
- tarve arvioida systemaattisesti korvausinvestointien kannattavuuteen vaikuttavat tekijät
- tarve määritellä systemaattisesti tehokkaat kunnossapitostrategiat (esimerkiksi parantava kunnossapito, investoinnit kunnonvalvontaan, suurkorjaukset).

## Johdanto vaatimusten määrittelyyn

Johdanto perustuu kunnossapidon vuosikirjan 2019 tekstiin (Komonen, 2019). Organisaatiot laativat strategisen suunnitelman, jonka olennainen osa on tuote- ja markkinavalikoima. Mitkä tuotteet kuuluvat valikoimaan ja millä markkina-alueilla niitä myydään. Tuotteet määrittävät tarvittavan tuotantoteknologian ja markkinat vaatimukset tuotteille sekä mahdolliset tuotantopaikat. Organisaation tuotteet vaikuttavat myös siihen, minkälainen taloudellinen rakenne yrityksessä on: pääomavaltainen vai työvaltainen vai jotain näiden väliltä. Ympäröivä yhteiskunta asettaa vaatimuksia ja mahdollisuuksia organisaatiolle mm. lainsäädännön, kulttuurin ja infrastruktuurin kautta. Organisaation ratkaisuihin vaikuttavat myös sen taloudellinen asema ja tavoitteet, joita se on itselleen asettanut. Yhdessä edellä esitetty tekijät vaikuttavat siihen, minkälaisia vaatimuksia tuotanto-omaisuusratkaisuille asetetaan ja minkälaisiin ratkaisuihin päädytään. Näin ollen organisaation fyysisen omaisuuden hallinnan strateginen suunnitelma (ISO 5500x käyttää siitä lyhennettä SAMP) on oleellinen osa organisaation strategista suunnitelmaa.

Tuotanto-omaisuuden hallinnan liittymät organisaation strategiaan ja strategiseen suunnitelmaan on havainnollistettu kuvissa 2.10 ja 2.11. Lyhyesti sanottuna organisaation käytössä oleva teknologia, markkinat, ympäröivä yhteiskunta ja yrityksen itsensä päämäärät, visiot, pitkän aikajänteen tavoitteet sekä muut organisaation ominaisuudet määrittävät fyysiselle omaisuudelle asetettavat vaatimukset ja edelleen valitut tuotanto-omaisuuteen liittyvät ratkaisut. Tunnistetut vaatimukset tuotanto-omaisuudelle perustuvat edellä mainituista tekijöistä tunnistettaville kriittisille menestystekijöille. Toisaalta fyysisen omaisuuden hallinnan sekä kunnossapidon tärkeänä osana pitää ottaa kantaa erilaisiin organisaation tunnistamiin vaihtoehtoihin ja selvittää, minkälaisia omaisuuden hallintaan, käyttövarmuuteen ja kunnossapitoon liittyviä vaikutuksia eri vaihtoehtoilla on.

Kun vaatimukset tuotanto-omaisuudelle on selkeästi määriteltä, on mahdollista päättää ratkaisuksista, jotka mahdollisimman hyvin ja kustannustehokkaasti täyttää nämä vaatimukset. Määritellyt vaatimukset antavat perustan omaisuuden hallinnan tavoitteiden, strategian ja suunnitelmien laatimiseen. Edelleen omaisuuden hallinnan tavoitteet, periaatteet ja suunnitelmat määrittävät kunnossapidon tavoitteet, strategiat ja suunnitelmat.



Kuva 2.10. Fyysisen omaisuuden hallinta organisaation strategisen johtamisen osana

Edellä kuvattua prosessi voidaan nimetä fyysisen omaisuuden hallinnan strategiseksi prosessiksi. Tämän prosessin onnistumista ja kehittämistarpeita täytyy seurata ja ohjata sekä tarpeen tullen

parantaa. Vaikka tunnuslukujen käyttö onkin pitkälle kehittynyttä, organisaatioiden on syytä tarkistaa, kuinka hyvin omaisuuden hallinnan strategisen prosessin kolme tunnuslukua vaativaa tasoa on katettu (Kuva 2.11).

Organisaation strategisen omaisuuden hallinnan prosessin menestyksellinen läpivienti tarvitsee tukeen metodologista viitekehystä. Lopullisessa äänestyksessä oleva standardi FprEN 17485 (2020) tarjoaa työkaluja omaisuuden hallinnan prosessien läpivientiin.

## Vaatimusten määrittely

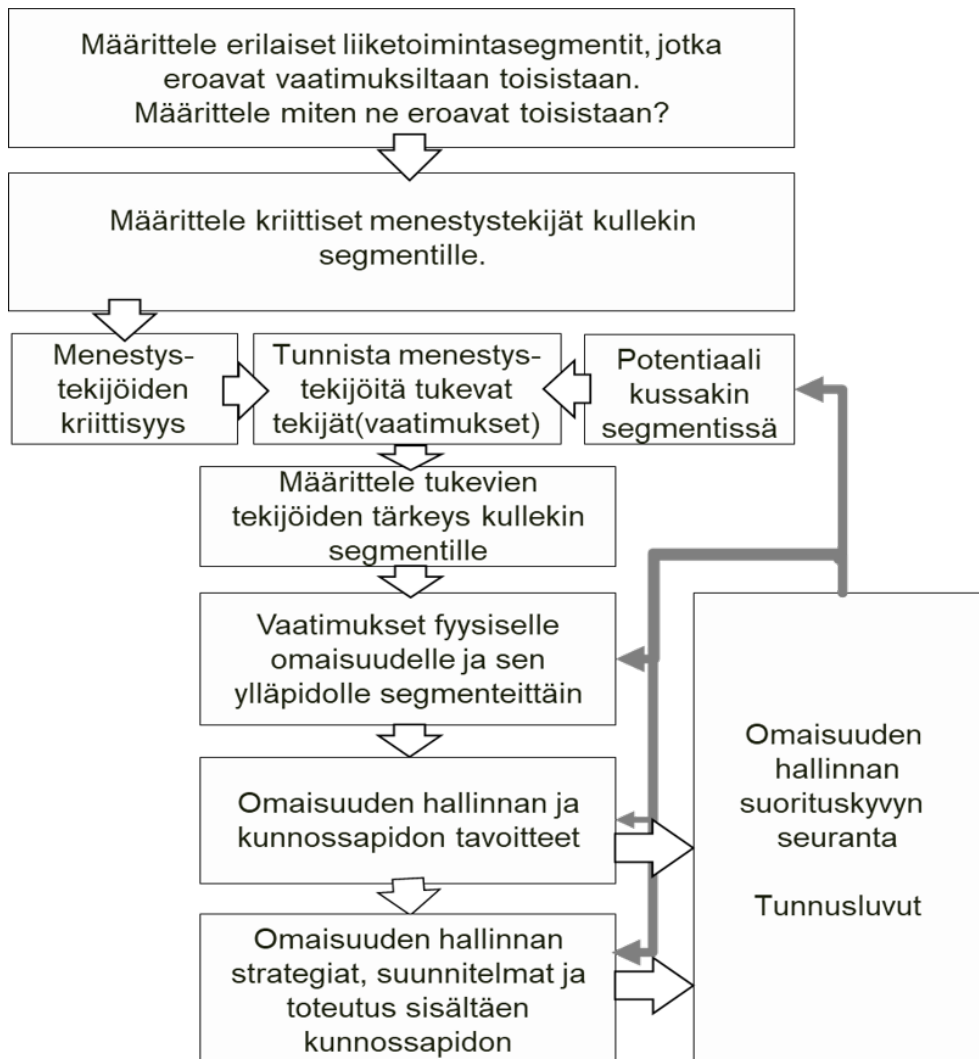
Menetelmä perustuu liiketoimintasegmenteittäin tehtävään kriittisten menestystekijöiden määrittelyyn (Kuva 2.11). Edellä esitetyn mukaisesti organisaation tuotteet ja neljää vaikuttavaa tekijää (markkinat, yhteiskunta, teknologia ja organisaatio itse) määrittävät segmentissä vallitsevat kriittiset menestystekijät. Kriittiset menestystekijät määrittävät ne pääkeinot, joiden avulla organisaatio voi saavuttaa liiketoiminnalliset tavoitteensa ja voi menestyä kilpailussa kilpailijoiden ja korvaavien palveluiden /tuotteiden kanssa. Menestystekijät voivat liittyä esimerkiksi

- palvelutasoon (esim. käyttökokemus, käyttövarmuus, nopeus, täsmällisyys),
- turvallisuuteen (esim. henkilö-, materiaali-, ympäristö- kyberturvallisuus),
- ympäristöystävällisyyteen (esim. vähäpäästöisyys, matalat elinkaarikustannukset),
- suorituskyykyyn (esim. nopeus, määrä, korkea panostuotos suhde),
- kustannustehokkuuteen (esim. hinta-laatusuhde, panos-tuotossuhde)
- vähäiseen pääoman käyttöön (esim. matalat elinjakso-kustannukset, matala hankintakustannus, hyvä suorituskyyky).

Tuotanto-omaisuudelle asetettavat vaatimukset riippuvat organisaation tuottamista tuotteista tai palveluista ja aiemmin esitellyistä sisäisistä ja ulkoisista vaikuttavista tekijöistä (markkinat, yhteiskunta, teknologia ja organisaatio itse) sekä niiden perusteella määritellyistä organisaation tavoitteista, strategioista ja kriittisistä menestystekijöistä. Vaatimusten määrittely ei ole välttämättä helppo ja yksinkertainen prosessi, vaan moniulotteinen ja analyttisesti vaativa tehtävä. Tehtävää helpottamaan voidaan erilaiset liiketoiminta- ja teknologiaympäristöt pelkistää muutamaa pääryhmään, joilla on selkeästi määriteltävissä olevat yleisesti vaatimukset fyysiselle omaisuudelle (FprEN 17485, 2020).

Vaatimuksia voivat olla esimerkiksi

- kapasiteetin skaalaetu
- kapasiteettijoustavuus
- joustavuus muuttuviin asiakastarpeisiin
- toimintavarmuus, kestävyys
- ympäristö ja turvallisuus
- tuotelaatu
- hyötysuhde
- kustannustehokkuus
- laitteiston käytettävyyden
- tuotanto-omaisuuden tuleva markkina-arvo
- viimeisin teknologian hyödyntäminen laitteistovalinnoissa
- tuotanto-omaisuuden standardointi organisaation sisällä
- henkilöstön pätevyysiin perustuva tuotanto-omaisuus



Kuva 2.11. Fyysiselle omaisuudelle asetettavien vaatimusten määrittely (muunnoksien FprEN 17485, 2020)

Vaatimuksiin liittyvä potentiaali tarkoittaa käytössä olevaa mahdollisuutta edistää kriittisten menestystekijöiden ja asetettujen vaatimusten saavuttamista:

- joissakin tilanteissa potentiaalia on vain vähän tai se on rajoitettu tai sitä ei ole ollenkaan.
- joissakin tilanteissa potentiaalia on runsaasti ja näin ollen vaatimukset voivat olla korkealla.
- esimerkkejä rajoitetusta potentiaalista: kunnonvalvonnan mahdollisuudet on jo käytetty hyväksi, dataa jaksotetun kunnossapidon käyttöön ei ole jne.
- esimerkkejä runsaasta potentiaalista: kunnonvalvontaa on käytetty vasta vähän, kunnossapitovelkaa on runsaasti, dataa on paljon, mutta sitä ei ole hyödynnetty, jne.

Kun vaatimukset fyysiselle omaisuudelle on määritelty, on mahdollista määritellä sille asetettavat tavoitteet sekä edelleen omaisuuden hallinnan strategiat tavoitteiden saavuttamiseksi. Kunnossapidon vaatimukset, tavoitteet ja strategiat määräytyvät fyysisen omaisuuden hallinnan osana. Tärkeä elementti prosessissa on menestystekijöiden, vaatimusten ja tavoitteiden muutostarpeiden ja saavuttamisen seuranta. Tämä edelleen edellyttää tunnuslukujen määrittelyä kullekin edellä mainitulle tasolle. Määriteltyjen menestystekijöiden relevanssin ja muutostarpeiden seuranta kuuluu liikkeenjohdolle ja sitä pitää suorittaa jatkuvasti. Menestystekijöiden perusteella määriteltyjen vaatimusten toteutumisen- ja muutostarpeiden seuranta kuuluu yhdessä liikkeenjohdolle ja fyysisen omaisuuden hallinnasta vastaavalle organisaatiolle samoin, kuin omaisuuden hallinnan tavoitteiden strategioiden seuranta ja päivitys.

## Teknologinen näkökulma

Kuten aiemmin todettiin yrityksen liiketoiminta- ja teknologiaympäristö vaikuttavat oleellisesti fyysisen omaisuuden hallintaan. Kuvassa 2.12 (sama kuin kuva 2.8) on esitetty yksinkertaistettu kuvaus eräiden teknologisten ympäristötekijöiden vaikutuksesta fyysisen omaisuuden hallinnan strategioihin ja toimintatapoihin. Esimerkkikuvauksessa nämä ympäristötekijät ovat vertikaaliakselilla tuotannon rakenne (integraatioaste), tuotannon menetyksen kustannus per aikayksikkö, pienin tehokas tuotantolaitoksen koko ja / tai pienin tehokas laajennusinvestointi sekä vaaka-akselilla tuotantoteknologian standardisuus ja realisoitavuus. Kuva perustuu kansainväliseen ja kotimaiseen teoriapohjaan sekä 20 vuoden empiiriseen tutkimukseen Suomen teollisuudessa.

Tuotannon rakenne	Tuotannon menetyksen kustannus / aikayksikkö	Pienin tehokas koko tai pienin tehokas laajennusinvestointi	Tuotantoteknologia		
			Standardi	Semi-standardi ja rajoitettu realisoitumismahdollisuus	Yrityskohtainen (asset specific)
Jatkuva virtaus	Korkea yksikkökustannus	Suuri, porrasmainen			
Epäjatkuva virtaus	Keskitasoa oleva yksikkökustannus	Välimuoto			
Työpaja	Matala yksikkökustannus	Pieni, portaaton			

Fyysisen omaisuuden merkitys kasvaa. Pitkän tähtäyksen kustannustehokkuus korostuu ja joustavuus vähenee. Taloudellinen riski ja alalle tulon esteet kasvavat. Tarve korkealle käyntiasteelle, käytettävyydelle ja OEE:lle kasvaa. Kunnossapidolle asetettavat vaatimukset kasvavat ja tarve hyvälle kunnossapidettävyydelle, luotettavuudelle ja suunnitellulle kunnossapidolle lisääntyvät.

Kuva 2.12. Tuotantojärjestelmän (teknologiaympäristön) vaikutus omaisuuden hallintaa: esimerkkejä (Komonen, 2019)

Kun siirrytään kuvan 2.12 esimerkissä työpajatyypisestä matalan tuotannon menetyksen yksikkökustannuksista kohti jatkuvan virtauksen ja korkean tuotannon menetyksen yksikkökustannuksia sekä samalla standardista teknologiasta yrityskohtaiseen tuotanto-omaisuuteen, fyysisen omaisuuden merkitys kasvaa. Pitkän tähtäyksen kustannustehokkuus korostuu ja joustavuus vähenee. Taloudellinen riski ja alalle tulon esteet kasvavat. Tarve korkealle käyntiasteelle, käytettävyydelle ja OEE:lle kasvaa. Kunnossapidolle asetettavat vaatimukset kasvavat ja tarve hyvälle kunnossapidettävyydelle, luotettavuudelle ja suunnitellulle kunnossapidolle lisääntyvät.

Kuvassa semi-standardin teknologian yhteydessä esiintyvä rajoitettu realisoitumismahdollisuus tarkoittaa sitä, että vaikka kyseessä olevaa teknologiaa on markkinoilta saatavissa, sen tarpeen mukainen muunneltavuus uuden omistaja tarpeisiin on rajoitettua ja toisaalta kilpailustrategisista syistä sitä ei välttämättä haluta myydä, vaan se mieluummin romutetaan, jotta kapasiteetti markkinoilla vähenisi. Edellisten lisäksi on luonnollisesti muitakin teknologisia tekijöitä, jotka vaikuttavat prioriteetteihin ja valittuihin toimintatapoihin kuten mm. tuotantosysteemin käyttövarmuusominaisuudet.

### Pelkistetty menettelytapa vaatimusten määrittelyyn

Tässä luvussa esitellään viitekehys vaatimusten määrittelyyn kriittisiin menestystekijöihin tukeutuen. Teknisesti tämän viitekehysten yhteydessä voidaan käyttää organisaation erityistarpeiden mukaan sellaisia tunnettuja menetelmiä kuten QFD (*Quality Function Deployment*, suomeksi Laatu-talo) tai AHP (*Analytic Hierarchy Process*) tai KEPNER-TREGOE menetelmää. Tässä yhteydessä

esitetään vain prosessin perusmalli ja ajattelutapa (Kuvat 2.13-2.16). Kuvassa on vain esimerkkejä siitä, mitä kullakin prosessin vaiheella tarkoitetaan eikä niillä ole minkäänlaista ohjeellista sisältöä.

Kuvassa 2.13 on esitetty viitekehys, jonka avulla kriittiset menestystekijät voidaan määritellä. Ensin jaetaan organisaation liiketoimintasegmentteihin, jotka eroavat toisistaan vaikuttavien tekijöiden näkökulmasta. Seuraavaksi kuvataan, minkälaisia luonteenomaisia piirteitä segmenteillä on. Lopuksi määritellään kriittiset menestystekijät, jotka vastaavat segmentin vaatimuksiin ja tuottavat kannattavaa pitkän aikajänteen toimintaa.

Liiketoimintasegmentti 1	Liiketoimintasegmentti 2	Liiketoimintasegmentti 3
Lyhyt kuvaus:	Lyhyt kuvaus:	Lyhyt kuvaus:
Tuote X kotimaan markkinoille	Tuote Y vientiin räätälityönä	
varastotavarana	B2B markkinoilla	
Ominaisuuksien kuvaus	Ominaisuuksien kuvaus	Ominaisuuksien kuvaus
Standardituote	Massaräätälöinti tyypillistä	
Varastotavara tukkumyynnissä	Toimitus tilauksen perusteella	
Varastotavara vähittäismyynnissä	Ostajan keskeinen tuotannon tekijä	
Jatkuva saatavuus tärkeää	Toimitusketjun toimivuus tärkeää	
Kilpailu kovaa	Teknologia	
Oheispalveluja toimitusketjussa	Jälkimarkkinat tärkeät	
Hinta on tärkeä, mutta ei ratkaiseva	Uusia toimijoita tulossa markkinoille	
Kriittiset menestystekijät	Kriittiset menestystekijät	Kriittiset menestystekijät
1. Matalahko hintataso	1. Kohtuullinen hintataso	
2. Suuri volyymi	2. Asiakastarpeen ymmärtäminen	
3. Kokonaisjärjestelmän (tuote) toimituskyky	3. Toimitusvarmuus ja -täsmällisyys	
4. Jatkuva toimituskyky	4. Luotettavuus toimittajana	
5. Oheispalvelujen tarjonta	5. Elinjaksopalvelujen tarjonta	
6. Volyymijoustavuus	6. Panostaminen kehitystoimintaan	
7. xx	7. xx	
8. xx	8. xx	

Kuva 2.13. Kriittisten menestystekijöiden määrittäminen

Seuraavassa vaiheessa kriittiset menestystekijät painotetaan organisaation valitsemalla asteikolla, esimerkiksi 1-5 tai 1-10 (Kuva 2.14). Samassa yhteydessä pyritään tunnistamaan ne fyysiselle omaisuudelle asetettavat vaatimukset, jotka vaikuttavat kriittisten menestystekijöiden saavuttamiseen. Seuraavaksi tämän vaikutuksen suuruus painotetaan myös organisaation valitsemalla asteikolla (esimerkiksi 1-5 tai 1-10). Kriittisen menestystekijän ja vaatimuksen vaikutuksen suuruus kerrotaan keskenään. Näin tehdään kunkin kriittisen menestystekijän osalta ja tulot lasketaan yhteen kunkin vaatimuksen osalta. Kuvassa 2.15 olevassa esimerkissä vaikuttavin tuotanto-omaisuudelle asetettava vaatimus on ”suorituskyky” ja vähiten vaikuttava ”tuotantoprosessin logistinen optimointi”. Lopuksi prosessin tulosten hahmottamiseksi raakapistet on skaalattu uudestaan alkuperäiseen skaalaan.

Tuotanto-omaisuudelle asetettavat vaatimukset, jotka tukevat kriittisiä menetystekijöitä											
Kriittiset menetystekijät	Painot	1. Suorituskyky		2. Korkea käyntiaste		3. Toimintavarmuus		4. Joustavuus		5. Tuotantoprosessin logistinen optimointi	
Skaala	10	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo
1. Matalahko hintataso	6	10	60	7	42	3	18	3	18	2	12
2. Suuri volyymi	10	10	100	10	100	6	60	4	40	3	30
3. Kokonaisjärjestelmän (tuote) toimituskyky	5	4	20	3	15	4	20	5	25	9	45
4. Jatkuva toimituskyky	8	7	56	4	32	8	64	7	56	5	40
5. Oheispalvelujen tarjonta	4	1	4	1	4	1	4	1	4	4	16
6. Volyyimijoustavuus	2	4	8	1	2	3	6	9	18	3	6
7. xx											
8. xx											
Kokonaispisteet	35		248		195		172		161		149
Vaatimusten painojen uudelleen määrittely			7,1		5,6		4,9		4,6		4,3

Kuva 2.14. Kriittisiä menetystekijöitä tukevien vaatimusten määrittely fyysiselle omaisuudelle

Määrittelyprosessin seuraavassa vaiheessa arvioidaan, miten organisaation tuotantoprosessin osaprosessit (omaisuuskokonaisuudet) vaikuttavat fyysiselle omaisuudelle asetettujen vaatimusten toteutumiseen. Menetelmä on samanlainen kuin edellisessä vaiheessa (Kuva 2.15). Kuvassa esitetyt vaatimukset ja niiden painoarvot tulevat kuvan 2.14 taulukosta. Tämän jälkeen arvioidaan, kuinka suuri vaikutus esimerkiksi omaisuuskokonaisuudella 1 on vaatimuksien toteutumiseen. Skaala on sama kuin edellisissä vaiheissa ja sarakkeessa ”tulo” vaatimuksen painoarvo on kerrottu vaikutuksen suuruudella. Lopuksi tulot on laskettu yhteen. Näiden tulossummien perusteella voidaan todeta, että tässä kuvitteellisessa esimerkissä vaatimuksien kannalta merkittävien omaisuuskokonaisuus on numero 2 ja vähiten merkittävä kokonaisuus vaatimus numero 4.

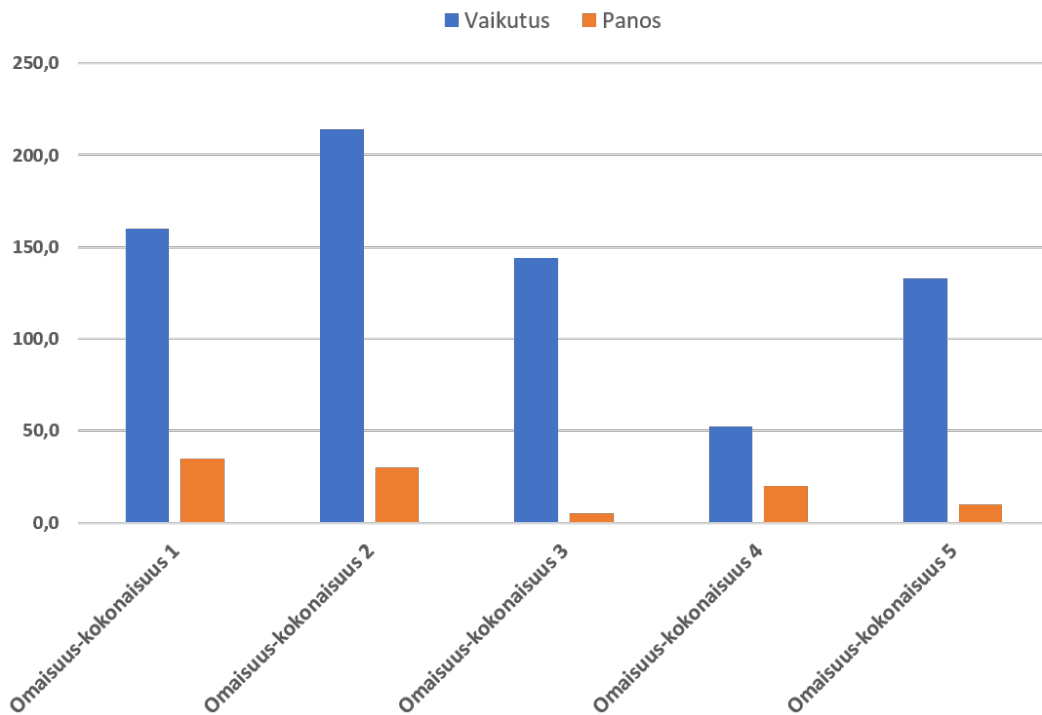
Alimmalle riville on merkitty, mikä on kunkin omaisuuskokonaisuuden eli osaprosessin osuus kokonaisinvestoinnista. Tämä tarkastelu antaa tietoa siitä, minkä osakokonaisuuden panos-tuotosuhde vaatimusten näkökulmasta on paras. Yhteenvedo tästä vertailusta on esitetty kuvassa 2.16.

Panos-tuotossuhteen perusteella tarkasteltuna omaisuuskokonaisuudet 2, 3 ja 5 vaikuttavat houkuttelevimmilta. Jos halutaan tunnistaa ne omaisuuskokonaisuudet, joiden avulla voidaan eniten vaikuttaa yksittäisten vaatimusten toteutumiseen, on tarkasteltava kuvan 2.16 taulukon vaalean punaisella värjättyjä tuloja. Esimerkiksi suurin parannus vaatimusten toteutumiseen saadaan suorituskyvyn osalta omaisuuskokonaisuuden 1 avulla (70,9). Toinen suorituskykyyn vaikuttava osaprosessi on numero 2. Kuva 2.16 havainnollistaa organisaation arviota omaisuuskokonaisuuksien vaikuttavuuden hinnasta investointiosuudella mitaten.

Eri omaisuuskokonaisuuksien vaikutus vaatimuksien toteutumiseen													
Vaatimukset	Painot	Omaisuus-kokonaisuus 1		Omaisuus-kokonaisuus 2		Omaisuus-kokonaisuus 3		Omaisuus-kokonaisuus 4		Omaisuus-kokonaisuus 5		Max	Min
		Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo		
1. Suorituskyky	7,1	10	70,9	7	49,6	3	21,3	2	14,2	2	14,2	70,9	14,2
2. Korkea käyntiaste	5,6	6	33,4	8	44,6	7	39,0	2	11,1	9	50,1	50,1	11,1
3. Toimintavarmuus	4,9	5	24,6	10	49,1	6	29,5	1	4,9	4	19,7	49,1	4,9
4. Joustavuus	4,6	4	18,4	7	32,2	9	41,4	2	9,2	6	27,6	41,4	9,2
5. Tuotantoprosessin logistinen optimointi	4,3	3	12,8	9	38,3	3	12,8	3	12,8	5	21,3	38,3	12,8
Kokonaispisteet	26,4		160,0		213,8		143,9		52,2		132,9	213,8	52,2
1. arvio investointi-kustannuksien jakaumisesta eri omaisuuskokonaisuuksille			35		30		5		20		10		

Kuva 2.15. Eri omaisuuskokonaisuuksien vaikutus fyysiselle omaisuudelle asetettaviin vaatimuksiin





Kuva 2.16. Vaikutuksen ja panoksen vertailu omaisuuskokonaisuuksittain

Edellä esitettyä lähestymistapaa voidaan käyttää seuraavissa tilanteissa:

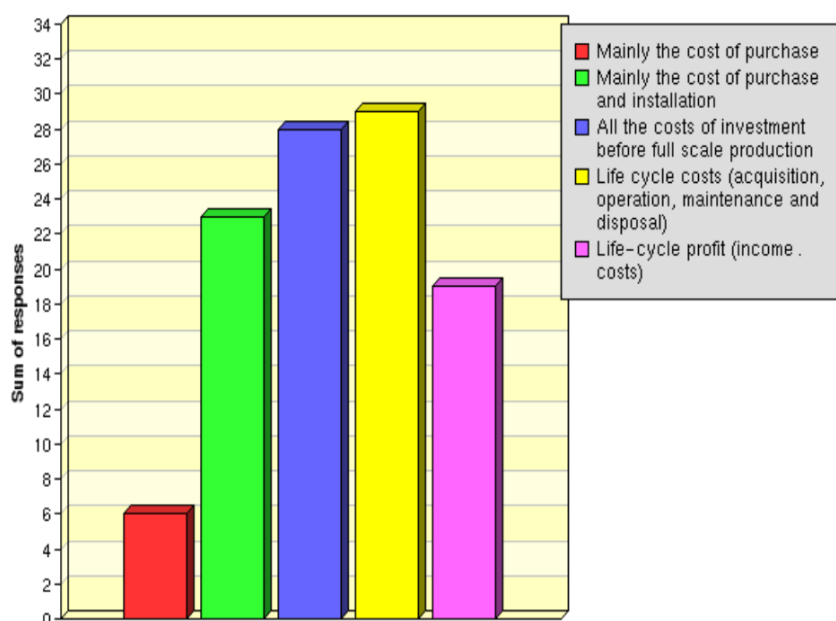
1. organisaation strategisen suunnitelman toteuttamiseen tarkoitetun SAMPin eli strategisen omaisuuden hallintasuunnitelman laatimiseen greenfield-investointivaiheessa
2. tuotanto-omaisuuden elinjaksojohtamisen O&M-vaiheessa (käyttö ja kunnossapito) SAMPin päivittämiseen,
3. tuotanto-omaisuuden O&M-vaiheessa korvausinvestointeihin, parantavaan kunnossapitoon ja modifikaatioihin liittyvän päätöksenteon tueksi.

Menettelytavan avulla voidaan kohdistaa kehittämistoimenpiteet ja vaatimusten hallinta niihin kriittisiin menestystekijöihin, jotka nähdään kaikkein merkittävimmiksi kilpailukyyn näkökulmasta. Toisaalta menettelytavan avulla voidaan tunnistaa ne vaatimukset tuotanto-omaisuudelle, joilla on suurin vaikutus kriittisten menestystekijöiden toteutumiseen. Kolmanneksi voidaan tunnistaa ne omaisuuskokonaisuudet, joilla on suuri vaikutus kunkin menestystekijän toteutumiseen. Neljänneksi menettelytavan avulla voidaan tunnistaa ne omaisuuskokonaisuudet, jotka vaikuttavat eniten kriittisten menestystekijöiden toteutumiseen kokonaisuudessaan. Kuvien 2.15 ja 2.16 viitekehyksissä voidaan myös analysoida, mikä kehittämisportfolio on tehokkain taloudellisten resurssien puitteissa olettaen, että organisaatiolla on jonkinlainen käsitys eri omaisuuskokonaisuuksiin liittyvien kehittämistoimenpiteiden panos-tuotossuhteesta. Koska yritys ympäristö, teknologia ja kilpailutilanne muuttuvat jatkuvasti yrityksen on päivitettävä edellä esitetty analyysit joko säännöllisesti esimerkiksi strategisen suunnittelun osana tai erikseen päätettyjen aikajänteiden puitteissa.

## Käyttövaiheen aktiviteetteja

Tehtäessä tuotanto-omaisuuden hankintaan liittyviä päätöksiä, elinjakso tuottoja ja -kustannuksia pidetään usein pätevänä kriteerinä investointivaihtoehtojen vertailussa. Käytännössä elinjakso kustannuksia käytetään investointipäätöksissä huomattavasti julkisuudessa lausuttua vähemmän. EFNMS:n julkaisemassa kyselyssä vuonna 2012 noin 45 % vastaajista ilmoitti käyttävänsä elinjakso kustannuksia tai -tuottoja investointipäätösten kriteerinä (Kuva 2.17). Huolimatta siitä, että vastaajien joukossa oli runsaasti infrastruktuuri-investoinneista vastuussa olevia organisaatioita, luku tuntuu suurelta. Konferensseissa ja koulutustilaisuuksissa tehtyjen käsiäänestysten perusteella, elinjakso kustannuksien ja -tuottojen käyttö investointikriteerinä on etenkin teollisuudessa huomattavasti matalampi.

Absolute distribution of the responses

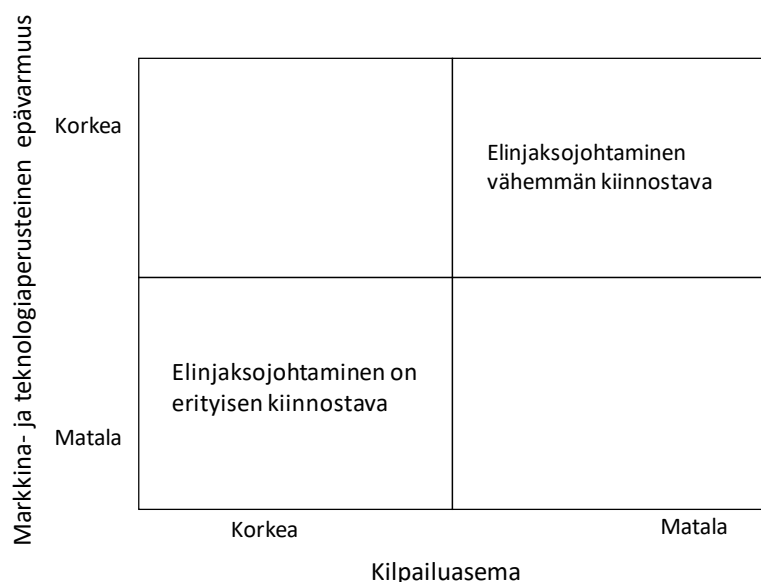


Kuva 2.17. Eri investointikriteerien käyttö investointipäätöksissä (EFNMS, 2012; Komonen, 2012)

Jos investointien taloudellinen käyttöaika on pitkä, elinjaksokustannuksien puuttuminen päätöksenteossa saattaa aiheuttaa tulevaisuudessa kustannuskilpailukyyn kumulatiivisen heikkenemisen. Koska korvausinvestoinneissa tai kehitysinvestoinneissa lyhyt takaisinmaksuaika on yleinen vaade, esimerkiksi sisäisen korkokannan (IRR) käyttäminen kriteerinä saattaa johtaa tulokseen, jossa muutaman vuoden (esimerkiksi 5 vuotta) käytön jälkeisillä tapahtumilla ei ole vaikutusta kohteen investoinnin kannattavuuslaskentaan ja näin ollen elinjaksokustannuksiltaan 10 vuoden aikajännteellä kannattavampi vaihtoehto ei tule valituksi. Tällöin on todennäköistä, että paine kunnossapitoa vastaan kasvaa, mutta samanaikaisesti, kun vaaditaan parempaa tulosta, todennäköisesti vaaditaan myös alhaisempia kunnossapitokustannuksia. Nämä kaksi vaatetta huonossa tapauksessa työskentelevät toisiaan vastaan ja heikentävät lopputulosta edelleen (Komonen, 2019).

Se, onko elinjaksokustannus tai -tuottolaskenta paras menetelmä valita eri investointivaihtoehtojen välillä, riippuu teknologia- ja liiketoimintaympäristön luonteesta, jossa organisaatio toimii sekä organisaation käyttämän teknologian joustavuudesta. Nämä tekijät antavat viitteitä yleisellä tasolla fyysisen omaisuuden odotettavissa olevan taloudellisen eliniän pituudesta arvioimalla epävarmuuden, jonka organisaatio kohtaa. Jos organisaation teknologia- ja liiketoimintaympäristö on dynaaminen, nopeasti muuttuva, se sisältää yleisesti ottaen paljon epävarmuutta. Jos tähän tilanteeseen yhdistyy organisaation heikko kilpailukyky, voidaan liiketoimintaympäristön epävarmuuden todeta olevan suuri. Suuri epävarmuus pitkistä taloudellisesta eliniästä ei motivoi käyttämään elinjaksotuottoja tai -kustannuksia päätöksenteon kriteerinä. Toisaalta stabiili ympäristö ja laitteiston pitkä tekninen elinikä yhdistyneenä vahvaan kilpailukykyyn kannustaa käyttämään elinjaksokustannus- tai -tuottolaskentaa investointipäätöksissä (Kuva 2.18) (Komonen, 2019).

Elinjaksojohtamisessa on luonnollisesti tärkeää, että vaatimukset tuotanto-omaisuudelle on alun perin määritetty vastaamaan mahdollisimman hyvin toiminta- ja teknologiaympäristön vaateita. Toisaalta on selvää, että etenkin investoinnissa, jossa päätöksen ja käyttöönoton välinen aika on pitkä, tilanne, jonka perusteella investoinnin määrittely on tehty, on luultavasti jo hieman muuttunut käyttöönoton hetkellä. Käyttöönoton jälkeen teknologinen ja liiketoimintaympäristö muuttuu edelleen ja näin ollen organisaation on spesifioidun ajanjakson jälkeen arvioitava uudestaan tuotanto-omaisuudelle asetetut vaatimukset. Tämän tilanteen erikoistapaus on se, että organisaatio katsoo järkeväksi laitteiston eliniän jatkamisen, muuttuneen toimintaympäristön takia (Komonen, 2019).



Kuva 2.18. Elinjaksojohtamisen kiinnostavuus tuotanto-omaisuuden hallinnassa (Komonen, 2019)

Toisaalta ulkoinen muutos ei ole ainoa tarvittavan revision lähde, sillä on mahdollista, että laitteisto ei ole täyttänyt sille asetettuja alkuperäisiä vaatimuksia. Tällöin vaatimukset eivät muutu, mutta laitteistoa on kehitettävä alkuperäisten vaatimusten täyttämiseksi. Kolmannessa tilanteessa revisio-tarve on jo etukäteen määritelty, koska tuotanto-omaisuus koostuu useista osaprosesseista, jotka kuluvat tai ikääntyvät eri tahtia. Tällöin elinjakson hallinta sisältää ajoitetun korvausinvestointi-tai korjaussuunnitelman koskien laitteiston koko suunniteltua elinjaksoa. Elinjakson hallinta sisäl-tää näin ollen ainakin seuraavat viisi tapausta, viisi toimenpiteitä laukaisevaa tekijää:

1. normaali kunnossapito
2. investoinnin yhteydessä, laitteiston käyttöönoton yhteydessä tai käytön aikana laaditaan korvausinvestointi- tai korjaussuunnitelma, jonka avulla voidaan varmistaa, että koko laitteisto täyttää asetut vaatimukset sen suunnitellun hyödyllisen eliniän ajan, ja tällöin alkuperäiset vaatimukset eivät muutu.
3. johtuen teknologia- ja liiketoimintaympäristön muutoksista organisaation menestystekijät ja sitä kautta vaatimukset fyysiselle omaisuudelle muuttuvat ja tämän vuoksi organisaat-ion on määriteltävä vaatimukset uudelleen ja toteutettava niiden vaatimat parantavan kunnossapidon toimenpiteet, modifikaatiot ja modernisoinnit (tämä voidaan joutua suo-rittamaan useita kertoja laitteiston hyödyllisen eliniän aikana).
4. tarvittavat parantavan kunnossapidon toimenpiteet ja modifikaatiot voidaan joutua suo-rittamaan, vaikka fyysiselle omaisuudelle asetetut vaatimukset eivät olisikaan muuttuneet ja tällöin alkuperäisiä vaatimuksia ei ole tarvetta modifioida, mutta esimerkiksi vaadittua käyttövarmuustasoa, vaadittua toimitusvarmuutta, vaadittua laatutasoa tai vaadittua kus-tannustasoa ei ole saavutettu (on myös mahdollista, että laitteiston ikääntyminen ja kulu-minen on ollut arvioitu nopeampaa ja näin ollen alkuperäistä vaatimustasoa ei ole voitu saavuttaa).
5. laitteiston eliniän jatkaminen.

Elinjaksojohtamisen hyödyntäminen vaatii sitä, että organisaatio säännöllisesti analysoi liiketoi-minta- ja teknologiaympäristöään ja päivittää fyysiselle omaisuudelle asetettavat vaatimukset. Vaa-timukset on edelleen kohdistettava fyysisen omaisuuden (tuotannon) eri osille. On siis tunnistettava, miten eri tuotantoprosessin osat vaikuttavat asetettujen eri vaatimusten saavuttamiseen. ”Säännöl-linen päivittäminen” riippuu teknologia- ja liiketoimintaympäristöstä ja on siksi useimmiten orga-nisaatiokohtainen asia. Tärkeää on myös vaatimusten priorisointi eli painoarvojen määrittely kul-lekin vaatimukselle sekä painoarvojen päivittäminen vaatimusten päivittämisen yhteydessä. Vaati-musten allokointi eri tuotantoprosessin osille ja vaatimusten ja allokoinnin päivittäminen luo poh-jan edellä esitellyille elinjaksojohtamisen viidelle eri tilanteelle.

Tuotanto-omaisuuden hallinnan päätökset liittyvät usein elinjaksojohtamiseen ja ajoitukseen. Milloin on tarpeellista tehdä merkittäviä korjauksia, milloin tehdä parantavaa kunnossapitoa, milloin tehdä modifikaatioita tuotantoprosessiin, milloin tehdä korvausinvestointeja tai milloin modernisointeja. Organisaation eri toiminnoilla (tekninen suunnittelu, tuotanto, kunnossapito, ostos, talous ja johto) saattaa olla hyvinkin erilainen näkemys siitä, mitä pitäisi tehdä ja milloin pitäisi tehdä. Kaikilla funktioilla pitäisi kuitenkin olla sama viitekehys, jonka perusteella päätökset arvioidaan. Tämä viitekehys sisältää listan päätöksiin vaikuttavista tekijöistä ja niiden tilasta päätöksentekohetkellä. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi tärkeistä määritellyistä kohteista (Komonen, 2019)

- vaatimukset laitteistolle
- laitteiden kriittisyys
- vaikutus vaatimusten saavuttamiseen
- teknillinen suoritustaso ja potentiaali
- kumulatiiviset todelliset elinjakso-kustannukset suhteessa ennusteeseen
- jäljellä oleva hyödyllinen elinikä
- kohteen suhteellinen taloudellinen merkitys (kohteen JHA suhteessa koko laitteiston JHA:n)
- kohteen yritys-kohtaisuus
- minimiseisokkiaika, joka aiheuttaa tuotannon menetyksiä
- tuotannon seisokkikustannukset / aikayksikkö kohden (esim. tuntia kohden)
- käyttövarmuushistoria ja nykyinen taso
- vaihtoehtoiset käytettävissä toimenpiteet ja niiden kustannukset
- riskianalyysi

Erinomaisen tavoiteasetantaa ja päätöksentekoa tukevan viitekehyksen tarjoaa myös standardi PSK 7903 (2011) (Käytettävyyden todentaminen prosessiteollisuudessa). Standardi perustuu tuotanto-omaisuuden hallinnan haasteisiin määrittelemällä niiden juurisyyt huomattavasti laiteteknistä näkökulmaa laajemmin ja kohdistamalla ne eri funktioille, jolloin perinteisestä juupas-eipäs tilanteesta päästään eroon ja haaste pyritään ratkaisemaan siellä, missä siihen on parhaat mahdollisuudet. Juurisyyt ovat standardissa luokiteltu seuraavasti:

- kunnossapidosta johtuvat
- tuotantoprosessin muutoksista johtuvat
- alkuperäisistä investoinneista johtuvat
- käytöstä johtuvat
- ulkoisesta tekijästä johtuvat

## Elinjaksoseuranta

Liian vähäiselle huomiolle on tuotanto-omaisuuden elinjakson hallinnassa jäänyt se, mitä omaisuudelle tapahtuu hankinnan jälkeen. Tämä pitää sisällään investointien jälkilaskelmat eli esimerkiksi elinjakso-tuottojen ja -kustannusten seuranta, vaatimustenmukaisuuden toteutuminen, vaatimusten muuttuminen liiketoimintaympäristön ja teknologian muuttumisen myötä sekä mahdollisen kehityspotentiaalin hyödyntäminen. Standardissa FprEN17485 on esitetty useita tapoja seurannan toteuttamiselle. Taulukossa 2.4 on esitetty pelkistetyssä muodossa eräs tapa elinjaksoseurannan toteuttamiseksi. Taulukossa ehdotetaan, että organisaation olisi arvioitava omaisuuskokonaisuuksittain niiden elinjaksostatus kuuden kriteerin avulla ja laadittavat toimenpidesuunnitelmaniiden perusteella. Arvioitavat kriteerit ovat

1. kriittisyys, mikä tässä tarkoittaa omaisuuskokonaisuuden vaikutusta tuotanto-omaisuudelle asetettujen vaatimusten toteutumiseksi, toisaalta omaisuuskokonaisuudesta aiheutuneen tuotannon menetyksen yksikkökustannusta sekä kokonaisuuden osuutta koko laitoksen hankintahinnasta
2. taloudellinen suorituskky sisältää toteutuneet elinjakso-kustannukset, kokonaiseheyskustannusten kehityksen sekä kunnossapidon kustannukset vielä erikseen
3. tekninen suorituskky sisältää arvion rakenteellisesta eheydestä, käyttövarmuudesta, jäljellä olevasta eliniästä sekä suorituskyyvyn nykytilasta ja kehityksestä
4. yhteiskunnallisten vaatimusten mukaisuus sisältää mm. direktiivit
5. vanhentuneisuus sisältää mm. päivitysten, teknisen tuen ja varaosien saatavuuden

6. henkilöstön pätevyys sisältää pätevyyden käyttää ja kunnossapitää laitteistoa vaatimusten mukaisesti ja siihen liittyvän kehityksen

*Taulukko 2.4. Elinjakso seurannan sisältö*

		Elinjakso seuranta			
	Arviointikriteerit	Omaisuu- kokonaisuus 1	Omaisuu- kokonaisuus 2	Omaisuu- kokonaisuus 3	Omaisuu- kokonaisuus 4
1	Kriittisyys				
2	Taloudellinen suorituskyky				
3	Tekninen suorituskyky				
4	Yhteiskunnallisten vaatimusten mukaisuus				
5	Vanhentuneisuus (obsolescence)				
6	Henkilöstön pätevyys				
7	Kehityssuunnitelma				
8	Toimenpiteet				

## Keskeiset opit

- Alhainen tuotantojärjestelmän joustavuus yhdistettynä suureen epävarmuuteen kasvattaa organisaation kohtamaa riskiä ja päinvastoin, joustavuuden avulla voidaan kompensoida suuren epävarmuuden vaikutuksia.
- Käytössä oleva teknologia vaikuttaa joustavuuteen. Mitä integroidumpi tuotantojärjestelmä on, mitä suurempi menetetyt tuotannon yksikkökustannus, mitä suurempi pienin tehokas mittakaava on ja mitä asset-spesifisempi tuotanto-omaisuus on, sitä joustamattomampi tuotanto-omaisuus on.
- Linkki liiketoiminnan ja omaisuuden hallinnan välille luodaan määrittelemällä kriittiset menestystekijät liiketoimintasegmenteittäin ja tunnistamalla tuotanto-omaisuudelle asetettavat vaatimukset kriittisten menestystekijöiden perusteella omaisuuskokonaisuuksille (tuotannon osaprosesseille).
- Kriittiset menestystekijät määräytyvät markkinoiden ominaisuuksien, yhteiskunnan vaatimusten, käytössä olevan teknologian ja organisaation ominaisuuksien perusteella.
- Kohdassa 4 mainitut vaikuttavat tekijät vaikuttavat siihen onko esimerkiksi elinjaksojohtaminen kiinnostava optio.
- Hankinnan jälkeen tuotanto-omaisuuden käyttövaiheen aktiviteetteja (triggereitä) ovat a) normaali kunnossapito, b) hankintavaiheessa tehtyjen ja käytön aikana päivitettyjen korvausinvestointi- ja korjaussuunnitelmien vaatimat toimenpiteet, c) toimenpiteet, joilla pyritään saavuttamaan alkuperäiset vaatimukset, joita ei ole vielä saavutettu tai käyttämään hyväksi havaittu potentiaali alkuperäisiä vaatimuksia parempaan toimintaan, d) toimenpiteet, joilla pyritään vastaamaan organisaation toimintaympäristössä tapahtuneisiin muutoksiin ja uusiin vaatimuksiin sekä e) laitteiston eliniän jatkaminen, kun se teknistaloudellisesti paras ratkaisu.
- Elinjakso seurannan tarpeellisuus ja sisältö.

## 2.3

### INVESTOINTILASKELMAT: MENETELMISTÄ JA NIIDEN KÄYTÖSTÄ

Kari Komonen

Päätöksenteon taloudellinen näkökulma (investointilaskelmat) liittyy tässä luvussa pääasiassa investoinneissa käytettäviin laskentamenetelmiin ja näin ollen myös päätöksenteon taloudellisiin kriteereihin. Käytettävät laskentamenetelmät määritellään organisaatiokohtaisesti ja useimmiten ulkoisen laskentatoimen ehdoin. On luonnollista, että yritystä ja sen taloudellista menestystä tarkastellaan kokonaisuutena. Yrityksen toiminnallinen tehokkuus saattaa kuitenkin vaatia edellä mainitusta poikkeavia käytäntöjä. Esimerkiksi on ymmärrettävää, että esimerkiksi varaosavarastoja tarkastellaan yrityksen kirjanpidossa esimerkiksi poistokäytäntöjen osalta samoilla periaatteilla kuin muutakin omaisuutta. Tällöin joidenkin varaosien varastoarvo saattaa olla täysin poistettu ja ne saattavat olla varastokirjanpidossa nollan arvoisina. Toiminnan ohjauksessa tällainen periaate antaisi täysin vääriä signaaleja toiminnan kehittämiseen ja niinpä toiminnan kehittämisen kannalta pitäisi olla toinen jälleenhankinta-arvopohjainen kirjanpito (Komonen, 2019).

Organisaatiot määrittävät päätöksentekokriteerit ja laskentamallit liikkeenjohdollisten periaatteiden mukaisesti, jotka ottavat huomioon liiketoimintaympäristön, jossa toimitaan. Tästä huolimatta on syytä haastaa valittuja periaatteita ja kysyä, johtavatko ne parhaaseen saavutettavissa olevaan tulokseen ja ottavatko ne huomioon riittävästi sen ympäristön, jossa yritys toimii. Investointien kannattavuuslaskennan menetelmiä on esitelty taulukossa 2.5.

*Taulukko 2.5. Laskentamenetelmiä investointipäätösten tueksi*

Laskentamenetelmä	Sisältö	Ominaisuudet
(Netto)nykyarvo (NPV), arvioitujen nettotuottojen nykyarvo	Tulevat nettokassavirrat diskontataan nykyhetkeen. jolloin useat eri vaihtoehdot saadaan vertailukelpoisiksi, Jos $NPV > 0$ , investointi on kannattava.	Korkea laskentakorko korostaa lyhyen aikajänteen tuottoja pitkän aikajänteen kustannuksella. Jos tarkastellaan pelkästään kustannuksia, menetelmä saattaa johtaa absurdeihin tuloksiin ja todennäköisyyksien käyttö tässä yhteydessä saattaa vääristää tuloksia edelleen. Kohteen hyödyllisen elinjakson arviointi on tärkeä osa laskentaa.
Annuiteetti-menetelmä (EAC)	Annuiteettimenetelmä muuntaa NPV:n tasakokoisiksi vuosittaisiksi summiksi. $Annuiteetti = NPV / Annuiteettitekijä$	Annuiteetti sopii eri vaihtoehtojen eri pituisten hyödyllisten elinjaksojen taloudelliseen vertailuun. Eri vaihtoehtojen riskitasojen pitäisi olla samoja.
LCP (Elinjaksotuotto)	LCP sisältää kaikki järjestelmän elinjakson aikana sen avulla syntyvistä nettotuotoista	Investoinnin avulla syntyneet säästöt voidaan katsoa sen tuotoiksi. NVP on tässä tapauksessa käyttökelpoinen laskentamenetelmä, samoin myös LCM (elinjaksomarginaali)

LCC (Elinjaksokustannus)	LCC sisältää kaikki järjestelmän elinjakson aikana syntyvistä välittömistä ja välillisistä kustannuksista sisältäen hankintahinnan (Kts. luku 1)	Kirjallisuudessa nykyarvolaskentaa suositellaan käytettäväksi elinjaksokustannusten laskennassa. Tähän suositukseen on syytä suhtautua varauksella, koska NVP:n käyttö saattaa johtaa harhaanjohtaviin johtopäätöksiin.
Kustannus-hyötysuhde (Cost-Benefit ratio)	Useimmiten yhteiskunnallisen päätöksenteon apuväline = diskontatut hyödyt suhteessa diskontattuihin kustannuksiin.	Sovelletaan usein tilanteissa, joissa on vaikea arvioida investoinnin hyödyt rahallisina arvoina.
Takaisin-maksuaika	Aika, jonka kuluessa nettotuotot ovat perushankintakustannuksen suuruiset.	Laskenta voi perustua diskontattuihin tai diskonttaamattomiin tuottoihin. Menetelmä sopii hyvin epävarmaan toimintaympäristöön. Ei kerro suoraan investoinnin kannattavuudesta.
Elinjaksomarginaali (LCM)	Odotettavissa oleva hyödyllinen elinikä jaettuna takaisinmaksuajalla	Lyhyt takaisinmaksuaika ja pitkä hyödyllinen elinjakso indikoivat kannattavaa investointia. Takaisinmaksuajan mittainen elinjakso indikoi korkeaa riskitasoa.
Sisäinen korkokanta (IRR)	Laskee korkokannan, jolla investoinnin (netto)nykyarvo = 0. Jos IRR on suurempi kuin tavoitteeksi asetettu pääoman tuotto, investointi on kannattava.	Yritysjohto arvostaa ja korostaa usein lyhyen takaisinmaksuajan tärkeyttä investointien kriteerinä. Tällöin IRR korostaa voimakkaasti lähiajan tuottoja ja investoinnin hyödyllisen taloudellisen ja teknisen iän pituuden vaikutus vähenee laskelmissa oleellisesti.
Pääoman tuottoaste	Vuotuisen poistojen jälkeisen tuoton osuus perushankintakustannuksesta (%).	Laskenta voi perustua koko hankintakustannukseen tai keskimäärin investointiin sidottuun pääomaan.
Ostohinta, investoinnin arvo		Ei suositeltava, mutta osaprosessien/laitteiden korvausinvestoinneissa laitoksen elinjakson loppuvaiheessa mahdollinen menetelmä.

Organisaatiot käyttävät päätöksenteossään useita menetelmiä, mutta mitä missäkin tilanteessa painotetaan voisi olla tilannekohtainen. Edellä todettiin, että fyysisen omaisuuden hallinta vaatii erilaisia lähestymistapoja riippuen organisaation teknologia- ja liiketoimintaympäristöstä (Komonen, 2019). Omaisuuden hallinta alkaa investoinnista. investointisuunnittelu määrittää pääosin investoinnin kannattavuuden, tulevat elinjaksotuotot tai -kustannukset.

Diskonttaukseen perustuva nettonykyarvon (NPV) laskenta perustuu ajatukseen, että

- organisaatiot pitävät parempana ansaita 10.000 euroa tänään kuin 10.000 euroa vasta vuosien päästä ja
- investoinneista tuottamat, eri aikoina tulevaisuudessa syntyvät kassavirrat pitää saada vertailukelpoisiksi diskonttaamalla ne nykypäivän arvoiksi,

Melkein standardin asemassa olevaa nettonykyarvoa (NPV) käytetään usein kirjallisuudessa pohtimatta sitä, minkälaisia haasteita siihen liittyy. Laskentaa käyttävät tuntuvat soveltavan nettonykyarvoa investointilaskelmissa hyvin jäykällä tavalla. Seuraavia kysymyksiä voidaan esittää:

- mikä on "oikea" laskennassa käytettävä korkokanta?
- mikä on "oikea" jäljellä olevan hyödyllinen ikä, jota laskelmissa käytetään?
- kuinka epävarmuus otetaan huomioon laskennassa ja laskelmien eri elementeissä?
- mikä yleisesti ottaen on sopiva laskentakaava yrityksen tai sen osaston tilanteessa.

Kuten edellä todettiin, pitkän suunnitellun hyödyllisen eliniän tapauksessa sisäisen korkokannan käyttö (IRR) päätöskriteerinä saattaa johtaa heikomman tuottopotentialin omaavan vaihtoehdon valintaan. Toisaalta päinvastaisessa, lyhyen hyödyllisen eliniän tilanteessa elinjaksotuottojen tai -

kustannusten käyttö tuo vain vähän lisäarvoa päätöksentekoon, koska tällöin riskien hallinta toimii ajurina.

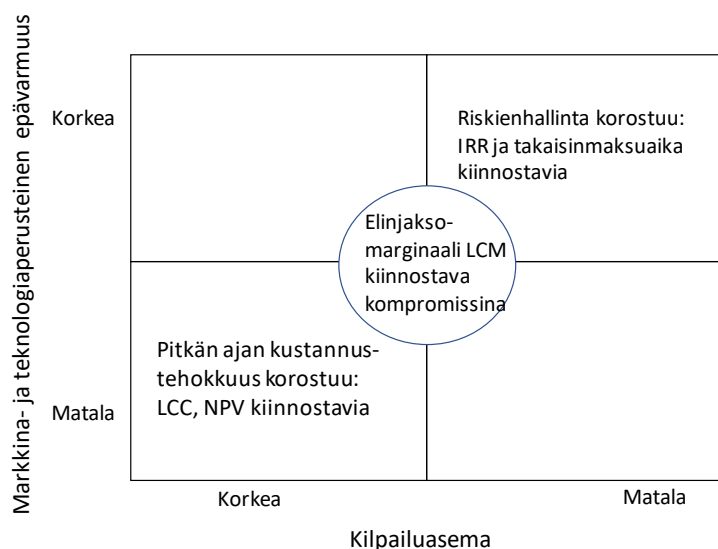
Tuotanto-omaisuuden jäljellä olevan hyödyllisen eliniän voidaan sanoa olevan toimintaympäristön epävarmuuden ja kilpailukyyn funktio, ellei organisaatio pysty jollain taloudellisesti kannattavin keinoin vähentämään epävarmuutta tai lisäämään kilpailukykyä tai ellei organisaatio halua nimenomaisesti ottaa riskiä, koska se uskoo liiketoiminta-alueen tulevaisuudessa olevan merkittävä tuottolähde. Esimerkiksi suuri epävarmuus ja heikko kilpailukyky lyhentävät odotettavissa olevaa elinikää (Kuva 2.19).

		Laitteiston laskennassa käytetty hyödyllinen elinikä (esimerkki)						
Teknologiaan ja markkinoihin liittyvä epävarmuus	Pieni	6	6	10	10	10	10	10
		6	6	6	10	10	10	10
		3	6	6	6	10	10	10
		3	3	6	6	6	10	10
		3	3	3	6	6	6	10
		3	3	3	3	6	6	6
	Suuri	3	3	3	3	3	6	6
		Heikko			Vahva			
Kilpailuasema								

Kuva 2.19. Epävarmuuden ja kilpailuaseman vaikutus laskennassa käytettyyn elinikään (esimerkki)  
(Muunnoksin Heikkilä ym. 2012)

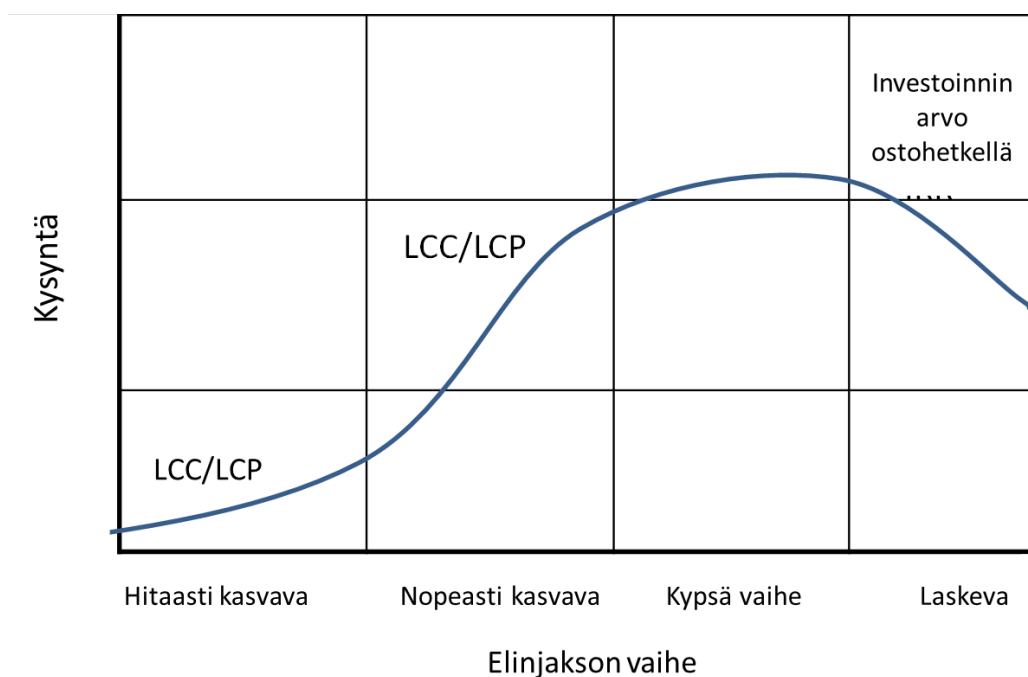
Edellä esitetyistä seikoista johtuen etenkin suuren organisaation olisi järkevää määritellä laskenta-periaatekartta, joka ottaisi huomioon eri liiketoiminta-alueitten vaatimat kriteerit ja laskentaperiaatteet sekä niissä vallitsevat erilaiset epävarmuusympäristöt ja kilpailuaseman. Esimerkki tällaisesta kartasta on esitetty kuvassa 2.20 (Komonen, 2019).





Kuva 2.20. Eri investointikriteerien kiinnostavuus erilaissa liiketoimintaympäristöissä

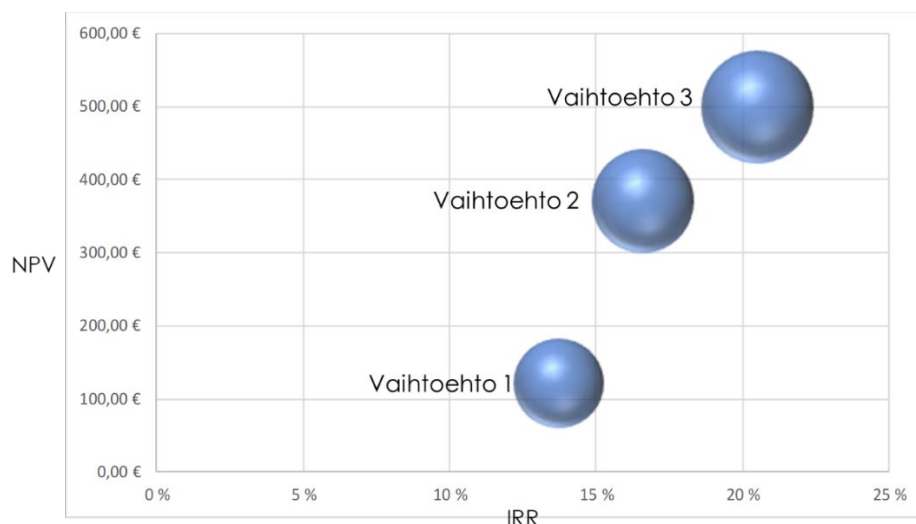
Sopivan investointilaskentamenetelmän valinta riippuu myös organisaation tuottaman palvelun tai tuotteen elinkaaren vaiheesta. Edellä ehdotettu laskentaperiaatteiden kartta voisi ottaa myös huomioon tuotteen elinkaaren vaiheen. Myös EFNMS:n selvitys (2012) tuki edellä ollutta ajattelua (Kuva 2.21). Selvityksen perusteella näyttäisi siltä, että vallitseva tendenssi oli käyttää elinjakso-kustannus- tai -tuottolaskentaa tuotteen elinkaaren alkuvaiheissa (hitaasti ja nopeasti kasvavat vaiheet), kun taas investoinnin hankintahinta oli kriteeri laskevassa vaiheessa (olettaen se, että tuotanto-omaisuuden elinjakso seurasi tuotteen elinkaaren vaihetta).



Kuva 2.21. Investointikriteerien käyttö investointipäätöksissä elinjakson eri vaiheissa (EFNMS, 2012; Komonen, 2012)

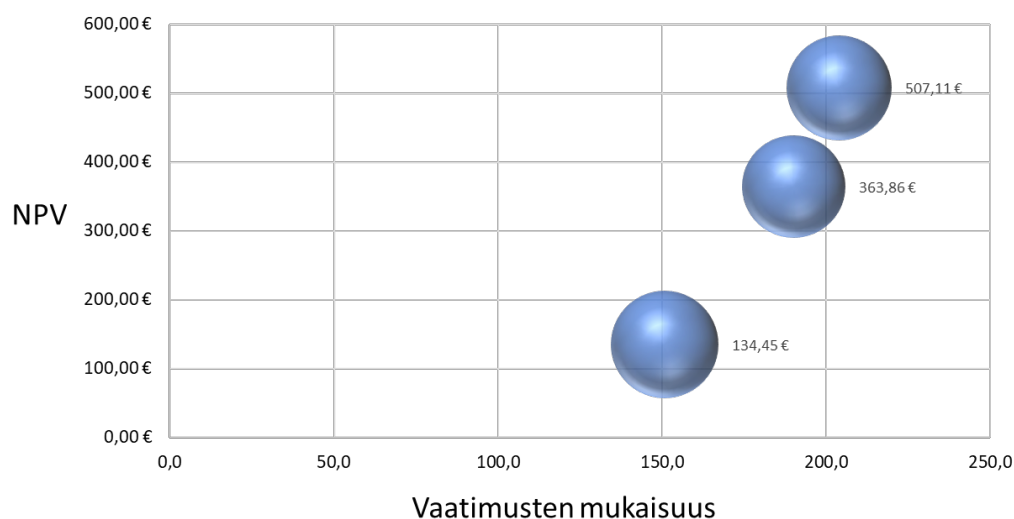
Kuten edellä todettiin, investointilaskelmissa on hyvä käyttää useampia laskentamenetelmiä ja niin yritykset useasti myös tekevät (Kuva 2.22). Kuvassa organisaatio on käyttänyt investointien kannattavuuslaskennassa kahta menetelmää: NPV ja IRR. Kuvassa olevan esimerkki on selkeä, koska

vaihtoehto 3 on paras sekä NPV:n että IRR perusteella laskettuna. Näin helppo tilanne ei kuitenkaan aina ole.



Kuva 2.22. Usean investointikriteerien käyttö investointipäätöksissä

Hyödyllistä on myös yhdistää vaatimustenmukaisuus taloudellisiin laskelmiin. Tosin taloudelliset aspektit voivat olla myös oleellinen osa vaatimusmäärittelyä. Kuvassa 2.23 on yhdistetty vaatimusten mukaisuutta kuvaavat pistemäärät ja arvioidut nettonykyarvot kolmen vaihtoehtoisen omaisuuskokonaisuuden osalta. Esimerkki kuvaa samalla tavalla helppoa tilannetta kuin kuva 2.22. Siinä paras vaihtoehto on paras sekä nettonykyarvon että vaatimusten mukaisuuden osalta. Vaatimustenmukaisuus tarkoittaa kriittisten menestystekijöiden avulla määriteltäviä vaatimuksia tuotanto-omaisuudelle ja vaihtoehtoisten investointivaihtoehtojen kykyä täyttää nämä vaatimukset.



Kuva 2.23. Taloudellisten laskelmien ja vaatimusten mukaisuuden yhteistarkastelu

Kuten edellä on esitetty, päätöksentekokriteerien ja investointien laskentamallien vallinnassa on hyvä ottaa huomioon epävarmuus, mikä organisaation liiketoimintaympäristössä vallitsee. Organisaatiot käyttävät usein päätöksenteossa skenaarioajattelua, jolloin laskelmien lopputulokseen lisätään tai siitä vähennetään esimerkiksi 20 % ja katsotaan, minkälainen vaikutus näillä poikkeamilla on organisaation toimintaan. Tämä ei kuitenkaan ole usein riittävä taso epävarmuuden hallinnassa. Päätökset sisältävät lukuisia kustannus- ja tuottoelementtejä, joihin liittyvä epävarmuuden taso olisi

hyvä arvioida erikseen, jotta voidaan lisätä ymmärrystä siitä, mitkä ovat eri suunnitelmien tai eri vaihtoehtojen heikot tai vahvat kohdat.

Yksinkertainen tapa epävarmuuden huomiointiin on arvioida esimerkiksi kunkin kustannuselementin osalta arvioituihin kustannuksiin liittyvä hajonta, joka voi olla esimerkiksi subjektiivinen asiantuntija-arvio siitä, mikä on kustannuksien arvioitu vaihteluväli (todennäköinen minimi ja maksimi). Hajonta voi perustua myös historia- ja benchmarking-tietoon. Esimerkiksi standardissa ISO 15663. 2001: Life-cycle costing — Petroleum and natural gas industries — Parts 1-3 käytetään hajontaa epävarmuuden mittana kullekin kustannus- ja tuottoelementille (Taulukko 2.6). Standardissa FprEN 17485 suositellaan samanlaista käytäntöä.

Taulukko 2.6. Standardin ISO 15663-2 ehdotus epävarmuuden hallintaan (Kamonen, 2019)

Elinjaksokustannukset: Kustannustekijät	Vaihtoehto A		
	Arvo (€)	Hajonta	
		Absoluuttinen (€)	Suhteellinen (%)

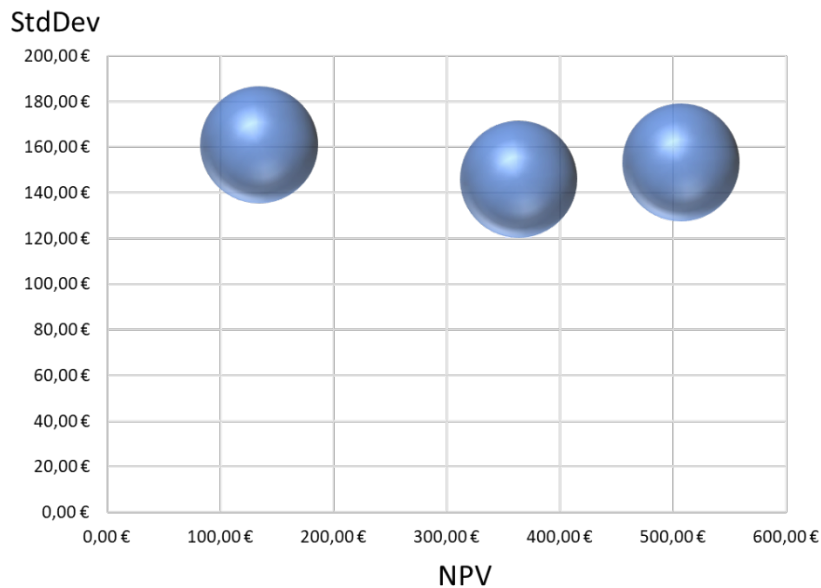
Kaksi tunnuslukua antaa jo kohtalaisen kuvan epävarmuuden vaikutuksista: 1) keskiarvo ja 2) hajonta. Jos elinjaksokustannukset NPV:n muodossa arvioidaan päätöksentekotilanteessa esimerkiksi Monte Carlo simuloinnin avulla, normaali-, log-normaali- tai kolmiojakauma vaativat näiden kahden parametrin arvioimista. Normaalijakauma ei ole hyvä jakauma investointilaskelmissa, koska se vaihtelee miinus äärettömästä plus äärettömään, mikä ei ole järkevä olettaus. Log-normaalissa jakaumassa tällaista haastetta ei ole ja toisaalta se kuvaa epälineaarista jakaumaa, mikä on usein lineaarista parempi olettaus. Kolmiojakauma on myös käyttökelpoinen. Seuraavassa olevassa esimerkissä on kuitenkin käytetty normaalijakaumaa sen yksinkertaisuuden vuoksi. Esimerkissä on kunkin investointivaihtoehdon osalta arvioitu 9 vuoden aikajänteellä kunkin vuoden tuotot ja kustannukset ja niihin liittyvä epävarmuus hajonnan muodossa. Kunkin vuoden nettokassavirta määräytyy siis tuottojen ja kustannusten todennäköisyysjakauman kautta. Lasketut kolmen vaihtoehdoisen investointikohteen nettonykyarvot (odotusarvo) sekä niihin liittyvät hajonnat on laskettu 300 simulointikierron perusteella (Kuva 2.24).

Omaisuuksokonaisuus 1	Investointi	Vuosi 1	Vuosi 2	Vuosi 3	Vuosi 4	Vuosi 5	Vuosi 6	Vuosi 7	Vuosi 8	Vuosi 9	
<b>Vaihtoehto 1:</b>											<b>NPV</b>
Tuotot		350	350	400	400	400	450	450	450	450	<b>501,19 €</b>
Tuottojen hajonta		150	125	100	100	100	125	150	150	200	<b>StdDev</b>
Kustannukset	1000	150	150	100	100	100	125	125	150	150	<b>175,70 €</b>
Kustannuksien hajonta	100	25	25	20	15	15	20	30	40	60	
<b>Vaihtoehto 2</b>											<b>NPV</b>
Tuotot		350	375	400	400	400	450	450	450	450	<b>346,75 €</b>
Tuottojen hajonta		125	125	100	100	100	125	150	150	200	<b>StdDev</b>
Kustannukset	1250	125	125	100	100	100	100	100	125	125	<b>149,24 €</b>
Kustannuksien hajonta	100	25	25	20	15	15	20	20	20	25	
<b>Vaihtoehto 3</b>											<b>NPV</b>
Tuotot		300	350	400	400	400	350	300	250	200	<b>112,73 €</b>
Tuottojen hajonta		150	125	100	100	100	125	150	150	200	<b>StdDev</b>
Kustannukset	950	150	150	100	100	100	150	150	175	200	<b>185,74 €</b>
Kustannuksien hajonta	150	25	25	20	15	15	30	40	40	60	

Kuva 2.24. Investointivaihtoehtojen NPV:t ja niihin liittyvä epävarmuus hajonnan muodossa

Mikä vaihtoehtoista on paras, riippuu päätöksentekijän riskinsietokyvystä ja riskikäyttäytymismallista. Riskinvälttämä painottaa pientä hajontaa ja riskinottaja painottaa nettonykyarvon odotusarvoa. Visuaalinen tarkastelu helpottaa usein päätöksentekoa (Kuva 2.25). Kuvassa vaakasuoralla akselilla on nettonykyarvon odotusarvo ja pystysuoralla akselilla sen hajonta. Kuvan esimerkki on

kuitenkin kummankin päätöksentekijätyyppin kannalta helpohko, koska erot hajonnoissa ovat pienet ja ero NPV:n odotusarvoissa ovat suuret.

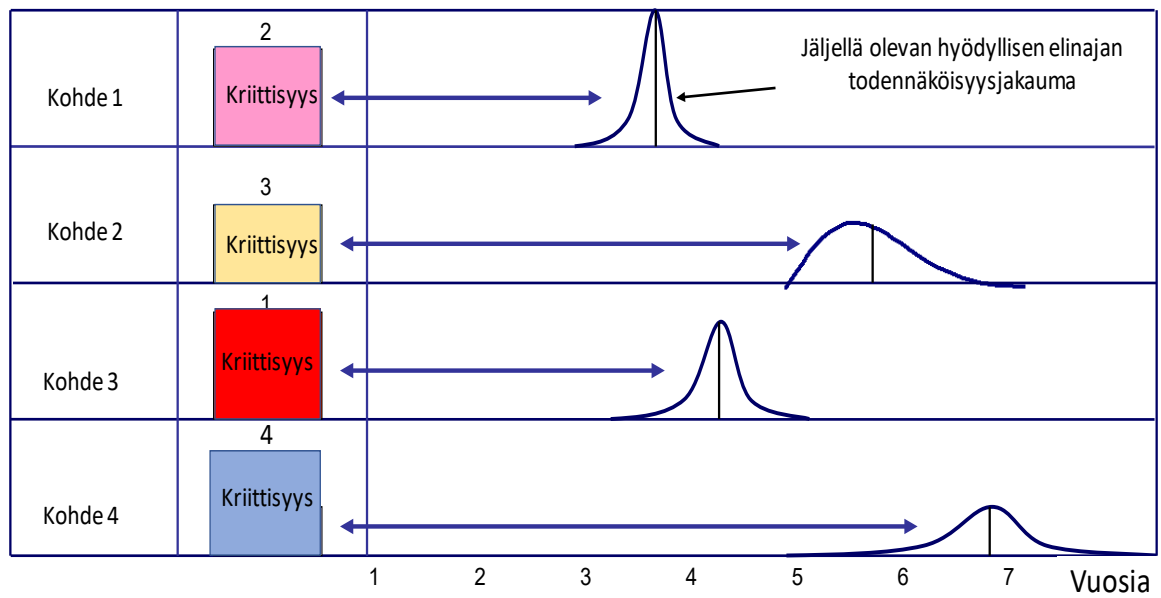


Kuva 2.25. Investointipäätöksenteko odotusarvon ja hajonnan avulla

Lähempänä kunnossapitoa olevissa tehtävissä, kuten seisokkisuunnittelussa, parannusinvestoinneissa ja korvausinvestoinneissa, tärkeää on toimenpiteiden ajoitus. Usein kysymys on toimenpidekimpun optimaalisesta ajankohdasta pikemminkin kuin yksittäisen tapahtuman ajoituksen optimoinnista. Jokaiseen kohteeseen liittyvien toimenpiteiden ajoitukseen liittyy epävarmuuksia, jotka voidaan mallintaa tilastollisten menetelmien tai subjektiivisten todennäköisyysjakaumien avulla (Kuva 2.26). Todennäköisyysjakaumiin perustuvan toimenpidekimpun ajoituksen optimointi voidaan suorittaa joko analyttisten menetelmien avulla tai simulointimenetelmien avulla (esimerkiksi Monte Carlo simulointi) (Komonen, 2019).

Todennäköisyyspohjaista menetelmää pidetään usein perusteettomasti liian sofistikoituneena ja tieteellisenä. Kuitenkin ihmiselle luontainen tapa on itseasiassa ottaa jopa päivittäisessä toiminnassa huomioon todennäköisyyksiä, tosin sitä itse huomaamatta. Toisaalta on turha pelätä sitä, että todennäköisyyksiin perustuva päätöksenteko vaatisi erityistä perehtyneisyyttä todennäköisyyslaskentaan tai vaikeasti ymmärrettäviin menetelmiin. Tällaisiin tarkoituksiin on tehty melko helpokäyttöisiä tietokoneavusteisia menetelmiä. Toisaalta voidaan sanoa, että hyvin harva talousalan ammattilainen osaa laskea investoinnin sisäisen korkokannan ilman hyvän ystävämme Excelin apua. Summaten voimme sanoa, että todennäköisyyksiin perustuvaa päätöksentekoa voidaan kehittää ja hyödyntää entistä paremmin esimerkiksi simuloinnin avulla, koska (Komonen, 2019):

- jokainen päätöksentekijä hyödyntää jo nyt ainakin subjektiivisia todennäköisyyksiä
- normaalissa päätöksentekotilanteessa on useimmissa tapauksissa useita vaikuttavia tekijöitä, jotka pitäisi ottaa huomioon
- yleensä ihminen ei hallitse ilman apuvälineitä useiden muuttujien yhtäaikaista vaikutusta etenkin, jos muuttujat on esitetty todennäköisyysjakaumina
- on mahdollista parantaa päätöksenteon laatua tietokoneavusteisilla työkaluilla, jotka auttavat hyödyntämään joka tilastollisia tai subjektiivisia todennäköisyyksiä
- on mahdollista mallintaa henkilön todennäköisyyspohjaisia arvioita tavoitteena hallita omista näkemyksistä tehtäviä johtopäätöksiä entistä paremmin.



Kuva 2.26. Usean kohteen toimenpideohjelman optimaalisen ajoituksen haaste (Komonen, 2019)

## Keskeiset opit

- Investointien laskenta- ja arviointimenetelmien pääsisältö.
- Epävarma organisaatioympäristö, heikko kilpailukyky ja riskien välttäminen suosivat investointilaskelmissa sisäistä korkokantaa IRR ja takaisinmaksu aikaa, mutta vakaa ympäristö ja hyvä kilpailukyky suosii elinjaksotuottojen tai kustannusten laskentaa. Elinjakso marginaali on hyvä kompromissi.
- Epävarmuuden huomiointi kustannus- ja tuottoelementteittäin on laskennassa tärkeää vähintään hajonnan tasolla.
- Kohteen elinjakson arvioitu pituus on tärkeä elementti laskennassa. Mitä parempi kilpailukyky ja vähemmän epävarmuutta liiketoimintaympäristössä on sitä pidempi laskennassa käytetty elinjakso voi olla.
- Laskennassa on hyvä käyttää kahta tai useampaa muuttujaa esimerkiksi: kahta laskentamenetelmää, keskilukua ja hajontaa sekä vaihtoehtojen taloudellista hyvyttä että vaatimusten mukaisuutta.

## 2.4

### KUNNOSSAPITO OMAISUUDEN HALLINNAN OSANA

Kari Komonen

#### Kunnossapito hankintavaiheessa

Vaikka kunnossapito usein koetaan O&M-vaiheen toiminnaksi, se alkaa jo tuotanto-omaisuuden hankintavaiheessa. Kunnossapito ei ole vain kunnossapito-osaston toimintaa, vaan sitä voi toteuttaa kuka tahansa organisaatiossa. Pienessä organisaatiossa siitä voi vastata vaikkapa toimitusjohtaja. Hankintavaiheessa kunnossapitokeskeisiä aktiviteetteja voi suorittaa laitteiston suunnittelijat riippumatta heidän sijoituksestaan organisaatiossa. Toimintavarmuus, kunnossapidettävyys ja kunnossapitovarmuus ovat tärkeitä kunnossapitosidonnaisia asioita jo hankintavaiheessa. Toisaalta alustavat kunnossapitostrategiat ja kunnossapitosuunnitelmat määritellään tai pitäisi määritellä jo suunnitteluvaiheessa. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että kunnossapidon osuus hankintavaiheessa ja laitteiston suunnitteluvaiheessa ei ole ollut eikä ole riittävä. Tuotanto-omaisuuden hankintavaiheen analyysihin ja suunnitteluun on käytössä lukuisia menetelmiä. Niiden soveltuvuus hankintaprojektin eri vaiheisiin riippuu luonnollisesti itse vaiheen tehtävistä ja roolista sekä myös omaisuushierarkian tasosta, jolla hankinta tehdään. Useat näistä menetelmistä ovat soveliaita myös kunnossapitosidonnaisiin suunnittelukohteisiin. Taulukossa 2.7 on havainnollistettu omaisuusvalikoiman tai omaisuuskokonaisuustason kunnossapitosidonnaista menetelmävalikoimaa.

Taulukko 2.7. Omaisuusvalikoima- ja omaisuuskokonaisuustason hankintavaiheen menetelmiä

Elinjakson vaihe	Esimerkkejä menetelmistä	Paikallinen tulos kunnossapidon näkökulmasta	Yleinen tulos
Esitutkimus (feasibility study)	Organisaation strateginen analyysi, Kriittisten menestystekijöiden analyysi Riskianalyysi, LCP/LCC analyysi	Yleiset kunnossapidolliset vaikutukset hankkeen toteuttamiskelpoisuuteen	Sopivuus organisaation strategiseen suunnitelmaan, Kriittisten menestystekijöiden määrittely
Konsepti	Kriittisten menestystekijöiden analyysi, Vaatimusanalyysi, QFD (Quality function deployment) AHP (Analytic hierarchy process) LCP/LCC-analyysi	Eri laitteistoratkaisujen arviointi luotettavuuden, kunnossapidettävyyden ja kunnossapitovarmuuden näkökulmasta	Vaatimusten määrittely tuotanto-omaisuudelle

Karkea suunnittelu	Käyttövarmuusvaatimusten allokointi omaisuuskokonaisuuksille, QFD, Kriittisyysarviointi, RBD-analyysi ( <i>Reliability block diagram</i> ), POA (Riskianalyysi), FTA, Load-Strength analyysi;	Vaatimusten määrittely kunnossapidolle, Kunnossapitostrategian alustava määrittely	Elinjaksokustannusten optimointi, Omaisuuskohtaiset vaatimukset
Yksityiskohtainen suunnittelu	Käyttövarmuusvaatimusten allokointi yksittäisille laitteille, RBD, QFD, FMEA/FMECA/RCM, Riskianalyysit, HAZOP, FTA, ETA, Load-Strength analyysi; HR.; Replace, repair and discard analyysi, Kunnossapidettävyyssuunnittelu; CBM suunnittelu (Kuntoon perustuva kunnossapito)	Käyttövarmuusennusteet, Toimintavarmuus ja kunnossapidettävyyden vaatimukset; Vaatimusten allokointi, Alustava kunnossapitosuunnitelma	Vaatimukset ja referenssiarvot yksittäisille kohteille
Laitteiston valmistus	Relevanttien standardien soveltaminen, vaatimusten mukaisuuden arviointi ja tehdastarkastukset,	Vaatimustenmukaisuus kunnossapidon osalta	Tehdastarkastus ja hyväksyntä, Vaatimustenmukaisuus
Laitteiston asennus	Vaatimustenmukaisuuden selvittäminen, POA, ETA, RCM, FMEA, Vikakriteerien määrittely, vikaantumismekanismiselvitykset vikamuotojen määrittely, vikaluoittelut, relevanttien standardien soveltaminen	Vaatimustenmukaisuus, Laitteiston tarkastukset ja testaukset, Yksityiskohtaiset kunnossapitosuunnitelmat	Laitteiston sisällyttäminen SAMP-suunnitelmaan
Käyttöönotto	Relevanttien standardien soveltaminen, Vaatimusten mukaisuuden selvittäminen,	Vaatimusten mukaisuus ja edellä esitettyjen päivitys	Edellä esitettyjen päivitys

## Kunnossapito elinjaksoprosessin osana

Kuten edellä on useaan otteeseen todettu, omaisuuden hallinnan yhtenä tavoitteena on vähentää organisaatioissa ”siilokäyttäytymistä”, toisin sanoen parantaa yhteistoimintaa eri funktioiden välillä. EN 16646 (2014) 'Maintenance within physical asset management' määrittelee kunnossapidon roolin organisaation strategisen toiminnan kehittämisprosessin eri vaiheissa ja toisaalta eri elinjaksoprosessien väliset kontribuutiot eli panokset toisten elinjaksoprosessien toiminnan onnistumiseen. Kummankin osalta täydellinen kuvaus löytyy standardista EN 16646, mutta ohessa on kuvattu otteita. Kuvassa 2.27 on kuvattu vasemmalla hallinjärjestelmän prosessin vaihe ja oikealla kunnossapidon toivottava rooli kussakin prosessin vaiheessa. Kunnossapidon rooli on määritelty 4 eri osallistumisen tasoa käyttäen:

- Vastuullinen rooli
- Aktiivinen osallistuminen
- Konsultoiva rooli ja
- Informatiivinen rooli



No	Hallintajärjestelmän prosessi tai tehtävä	Kunnossapidon rooli
1	Organisaation liiketoiminta ja omaisuusstrategia	Informatiivinen ja konsultoiva
4	Omaisuukskokonaisuuden kriittiset menestystekijät Vaatimukset omaisuuskokonaisuudelle	Konsultoiva rooli
6	Ratkaisun määrittely omaisuuskokonaisuudelle, kriittisyysanalyysi jne.	Aktiivinen osallistuminen
7	Omaisuukskokonaisuuden suunnittelu	Aktiivinen osallistuminen
9	Omaisuukskokonaisuuden hallintajärjestelmän luominen ja päivitys	Aktiivinen osallistuminen
10	Kunnossapidon hallintajärjestelmän luominen ja päivitys	Vastuullinen rooli
11	Kunnossapitostrategian ja suunnitelmien määrittely	Vastuullinen rooli
13	Kunnossapidon tukitoimintojen kehittäminen	Aktiivinen tai vastuullinen
14	Suorituskyvyn arviointi ja jatkuva kehittäminen	Vastuullinen rooli
16	Käytöstä poiston määrittely	Konsultoiva rooli
17	Feedback to the upper level	Informatiivinen

Kuva 2.27. Kunnossapidon rooli johtamisprosessin eri vaiheissa: ote (Komonen, 2016)

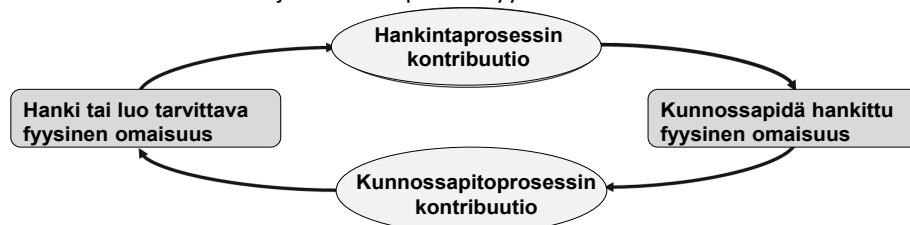
Jotta organisaatio voisi vähentää siilokäyttäytymistä, sen olisi syytä määritellä muidenkin toimintojen roolit toiminnan ohjausjärjestelmän eri vaiheissa. Yhteistoimintaa organisaatiossa voi kehittää myös määrittelemällä eri elinjaksoprosessien väliset kontribuutiot. EN 16646 -standardissa tämä on tehty kunnossapidon ja muiden elinjaksoprosessien välillä.

Kunnossapidon ja muiden elinjaksoprosessien väliset kontribuutiot on esitetty standardissa kahden välisinä vaatimuksina. Alla nämä kontribuutiot on havainnollistettu kahden esimerkin avulla: 1) laitehankinta ja kunnossapito (Kuva 2.28) sekä 2) käyttö ja kunnossapito (Kuva 2.29). Kontribuutiot on esitetty vain esimerkein, joten täydellisen kuvan saamiseksi on syytä tutustua itse standardiin.

Standardin mukainen vuorovaikutus on kahdensuuntaista ja iteratiivista. Usein sanotaan, että 75%-80% käytönaikaisista kustannuksista syntyy hankintavaiheessa tapahtuvan suunnittelun ja päätösten perusteella. Näin ollen jo pelkästään liiketoiminnan kannattavuuden ja tulevien elinjaksokustannuksien takia alla olevissa kuvissa havainnollistettu vuorovaikutus ja kontribuutiot ovat oleellisia.

#### Esimerkiksi

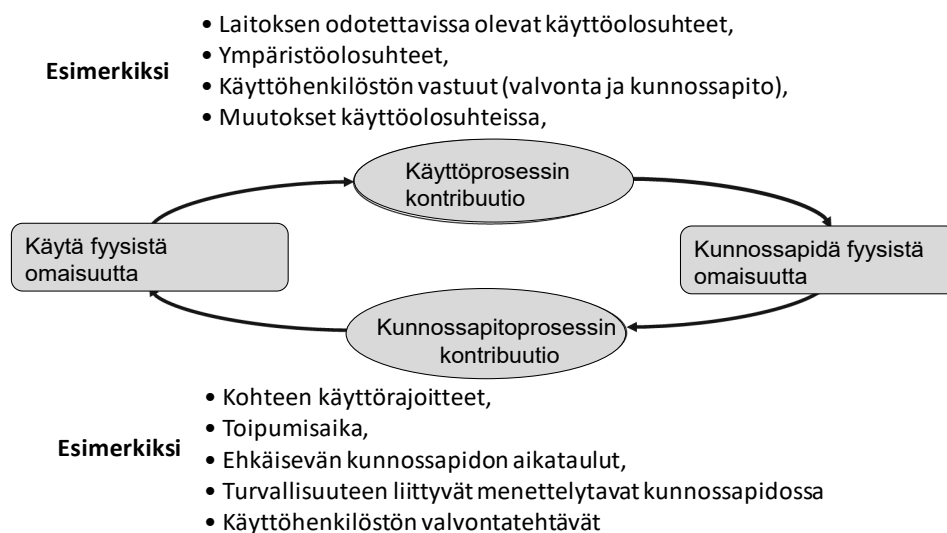
- Omaisuuserien kustannukset eri laitehierarkiatasoilla
- Omaisuuserien ominaisuudet kuten materiaali, teknologia, geometria, paino jne.
- Mekaaniset piirustukset ja muu dokumentaatio
- Toimintanalyysi: vaadittavat toiminnot ja käyttöolosuhteet, riskianalyysi
- Arvioitu luotettavuus ja kunnossapidettävyyttä



#### Esimerkiksi

- Kunnossapitostrategia
- Työkalujen, infrastruktuurin, pätevän henkilöstön saatavuus
- Omaisuuserän komponenteiltä vaadittava luotettavuus
- Vaadittava kunnossapidettävyyttä

Kuva 2.28. Laitehankinnan ja kunnossapidon väliset kontribuutiot esimerkein (Komonen, 2016)



Kuva 2.29. Käytön kunnossapidon väliset kontribuutiot esimerkein (Komonen, 2016)

Toiminnan ohjausprosessin roolituksen ja elinjaksoprosessien välisten kontribuutioiden lisäksi voidaan organisatorista näkökulmaa lähestyä omaisuuden hallinnan haasteiden juurisyiden kautta (Taulukko 2.8), jotka esiteltiin karkealla tasolla jo edellä. Nämä mainitut juurisyvät paikoittuvat usein myös eri toimintoihin organisaatiossa, jolloin syntyy raja-aitoja ja toisten syytelyä. Toisaalta juurisyiden paikallistaminen on ongelmien ratkaisemisen kannalta oleellisia ja toisaalta ongelmat ovat harvoin yhteen lähteeseen kohdistettavissa. Juurisyiden lista antaa mahdollisuuden tarkastella yrityksen aktiviteettien organisoitua uudella tavalla asiakokonaisuuksiksi, joka ottaa huomioon teknologian ja liiketoimintaympäristön vaatimukset (PSK 7903, 2011). Tämän lähestymistavan tavoite on se, että ongelmat ja toisaalta myös mahdollisuudet ratkaistaan tai hyödynnetään resurssein, joilla on siihen parhaat mahdollisuudet. PSK 7903 standardi ehdottaa tunnuslukuja, joilla erilaisia asiakokonaisuuksia ja niiden onnistumista voidaan mitata (Taulukko 2.9). PSK 7903 tarkastelee haasteita tuotantolaitteiston käytettävyyden näkökulmasta, mutta yhtä hyvin tämä tarkastelu voidaan laajentaa käyttövarmuuskustannuksiin tai turvallisuus- ja ympäristökustannuksiin. Oheisessa pelkistetyssä esimerkissä on mukana myös kustannukset.

Taulukko 2.8. Mahdollisia juurisyitä tuotanto-omaisuuden hallinnan haasteisiin

Kunnossapidosta johtuvat: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Jätetty tekemättä</li> <li>• Ei ole tehty suunnitelmien mukaan</li> <li>• Suunnitelma on ollut virheellinen tai puutteellinen</li> </ul>	Tuotantoprosessin muutoksesta johtuvat: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteen suorituskyky ei riitä</li> <li>• Lisääntynyt prosessirasitus</li> <li>• Lisääntynyt ympäristörasitus</li> </ul>
Investoinnista johtuvat (alkuperäisestä): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prosessinominaisuus</li> <li>• Väärät tai puutteelliset käyttö- ja huolto-ohjeet</li> <li>• Väärin valittu laite</li> <li>• Väärin asennettu tai käyttöön otettu laite</li> </ul>	Käytöstä johtuvat: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Käyttösuunnitelman muutos</li> <li>• Käytön suorittaman kunnossapidon ja puhdistustyön virhe</li> <li>• Virheellinen käyttö</li> <li>• Puutteellinen prosessin valvonta</li> </ul>
Ulkoisista tekijöistä johtuvat: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Väärä raaka-aine tai käyttöhyödyke</li> <li>• Toisen prosessin käyttöönotto</li> <li>• Valmistusviat</li> <li>• Luonnonilmiö</li> <li>• Niukkuus</li> </ul>	

Taulukko 2.9. Juurisyyt tuotanto-omaisuuden hallinnan viitekehyksenä PSK 7903 (2011). (Komonen, 2019)

Epäkäytettävyyden juurisyytä (koskee myös kustannuksia ja turvallisuusongelmia)	Kunnossapidollinen käytettävyys tai sen kustannukset	Tekninen käytettävyys tai sen kustannukset	OEE tai sen kustannukset	Toiminnan kokonaistehokkuus tai sen kustannukset
Kunnossapidosta johtuvat	×	×	×	×
Tuotantoprosessin muutoksista johtuvat		×	×	×
Investoinnista johtuvat		×	×	×
Käytöstä johtuvat (osittain)			×	×
Ulkoisista tekijöistä johtuvat				×

## Kunnossapidon strategiset lähtökohdat

Kunnossapidon strategiat nojaavat luvussa 2.2 esitettyyn viitekehykseen (Kuva 2.30). Esitetty viitekehys luo pohjan kriittisyystarkastelulle, mikä taas on kunnossapitostrategian yksi lähtökohdista. Se indikoi myös siitä, mihin omaisuuskokonaisuuksiin täytyy erityisesti panostaa, jotta kaikki vaatimukset tai jokin vaatimuksista voidaan saavuttaa tai jopa ylittää.

		Eri omaisuuskokonaisuuksien vaikutus vaatimuksien toteutumiseen											
Vaativuudet	Painot	Omaisuus- kokonaisuus 1		Omaisuus- kokonaisuus 2		Omaisuus- kokonaisuus 3		Omaisuus- kokonaisuus 4		Omaisuus- kokonaisuus 5			
		Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Tulo	Vaikutus	Product	Vaikutus	Tulo	Max	Min
1. Suorituskyky	7,1	10	70,9	7	49,6	3	21,3	2	14,2	2	14,2	70,9	14,2
2. Korkea käyntiaste	5,6	6	33,4	8	44,6	7	39,0	2	11,1	9	50,1	50,1	11,1
3. Toimintavarmuus	4,9	5	24,6	10	49,1	6	29,5	1	4,9	4	19,7	49,1	4,9
4. Joustavuus	4,6	4	18,4	7	32,2	9	41,4	2	9,2	6	27,6	41,4	9,2
5. Tuotantoprosessin logistinen optimointi	4,3	3	12,8	9	38,3	3	12,8	3	12,8	5	21,3	38,3	12,8
Kokonaispisteet	26,4		160,0		213,8		143,9		52,2		132,9	213,8	52,2
1. arvio investointi-kustannuksien jakaumisesta eri omaisuuskokonaisuuksille			35		30		5		20		10		

Kuva 2.30. Vaativuudet kunnossapitostrategioiden viitekehyksenä

Kunnossapitostrategia ja sen taustalla olevat vaatimukset määritetään ensimmäisen kerran jo hankintavaiheessa ja sitä päivitetään jatkuvasti laitteiston elinjakson aikana useista eri syistä, jotka esiteltiin jo luvussa 2.2. Jos esimerkiksi tärkeä tuotanto-omaisuudelle asetettu vaatimus on korkea käytettävyys tai käyntiaste, joudutaan pohtimaan, mihin käyttövarmuuden osa-alueeseen panostamalla tämä vaatimus saavutetaan hankintavaiheessa. Suunnittelijoiden on siis pohdittava, saavutetaanko vaadittava käyttövarmuus panostamalla:

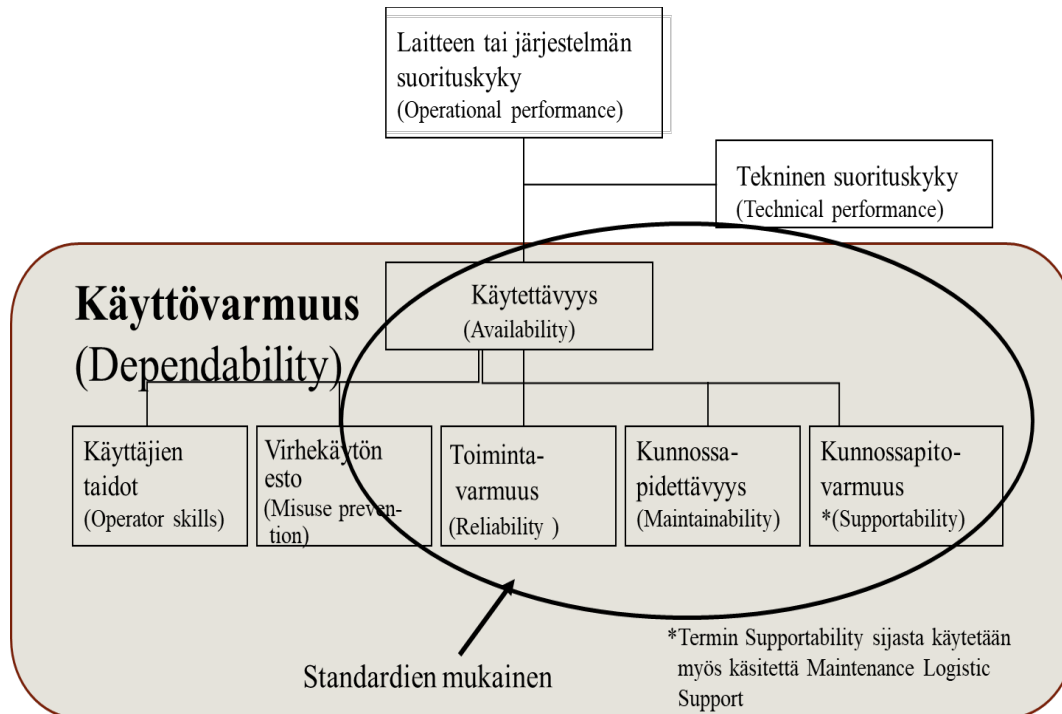
- toimintavarmuuteen,
- kunnossapidettävyyteen,
- kunnossapitovarmuuteen vai
- näiden yhdistelmään

Eriässä tarkasteluissa näihin on lisätty kaksi uutta tekijää: laitteen virheensietokyky ja käyttäjien taidot, jotka olisi myös huomioitava päätöksentekotilanteessa (Kuva 2.31).

Minkälaisella panostuksella näihin osatekijöihin esimerkiksi käytettävyydelle asetetut vaatimukset aiotaan saavuttaa, vaikuttaa luonnollisesti:

- käyttöolosuhteet
- käyttörajoitteet
- käytössä oleva teknologia

- käyttötapa
- kussakin osatekijässä oleva hankintavaiheessa ennustettu tai käytön aikana jäljellä oleva tekninen potentiaali
- kehitystoimenpiteiden panos-tuotossuhde ja
- organisaation yleiset taloudelliset rajoitteet



Kuva 2.31. Käyttövarmuuden osatekijät kunnossapitostrategian viitekehyksenä

			Tuotantoteknologia		
Tuotannon rakenne	Tuotannon menetyksen kustannus/aikayksikkö	Pienin tehokas koko tai pienin tehokas laajennus-investointi	Standardi	Semi-standardi ja rajoitettu realisointimahdollisuus	Yrityskohtainen (asset specific)
Jatkuva virtaus	Korkea yksikkökustannus	Suuri, porrasmainen			
Epäjatkuva virtaus	Keskitasoa oleva yksikkökustannus	Välimuoto			
Työpaja	Matala yksikkökustannus	Pieni, portaaton			

Fyysisen omaisuuden merkitys kasvaa. Pitkän tähtäyksen kustannustehokkuus korostuu ja joustavuus vähenee. Taloudellinen riski ja alalle tulon esteet kasvavat. Tarve korkealle käyntistasteelle, käytettävyydelle ja O'lle kasvaa. Kunnossapidolle asetettavat vaatimukset kasvava ja tarve hyvälle kunnossapidettävyydelle, luotettavuudelle ja suunnitellulle kunnossapidolle lisääntyvät.

Kuva 2.32. Tuotantojärjestelmän (teknologiaympäristön) vaikutus kunnossapitostrategiaan

Käytössä oleva teknologian vaikutuksia organisaation toimintaan on esitelty jo edellä. Tässä yhteydessä ne voidaan esitellä uudestaan tällä kertaan kunnossapidon strategisen suunnittelun näkökulmasta. Kun siirrytään kuvan 2.32 esimerkissä työpajatyypisestä matalan tuotannon menetyksen yksikkökustannuksista kohti jatkuvan virtauksen ja korkean tuotannon menetyksen yksikkökustannuksia sekä samalla standardista teknologiasta yritysکوhtaiseen tuotanto-omaisuuteen, fyysisen omaisuuden merkitys kasvaa. Pitkän tähtäyksen kustannustehokkuus korostuu ja joustavuus vähenee. Taloudellinen riski ja alalle tulon esteet kasvavat. Tarve korkealle käyntiasteelle, käytettävyydelle ja OEE:lle kasvaa. Kunnossapidolle asetettavat vaatimukset kasvavat ja tarve hyvälle kunnossapidettävyydelle, luotettavuudelle ja suunnitellulle kunnossapidolle lisääntyvät. Edellä esitetyt vaikutukset määrittävät suurelta osin kunnossapidon strategisen lähestymistavan.

Teknologista näkökulmaa on tutkittu VTT:llä useissa eri projekteissa. Vuosina 2008-2010 toteutetussa projektissa selvitettiin tuotanto- ja kunnossapitoympäristöjen vaikutusta kunnossapidon strategioihin ja toimintatapoihin (Komonen ym., 2011). Tutkimuksessa voitiin tunnistaa tekijöitä, joilla oli merkittävä vaikutus kunnossapidon toimintamallien muotoutumiseen. Nämä tekijät olivat seuraavat:

1. laitteiston kriittisyys/aiheuttama riski
2. vikaantumisalttius
3. tyypillinen korjausaika
4. huoltotarve (säännöllisen ehkäisevään kunnossapidon tarve)
5. kunnossapitomahdollisuus (esimerkiksi käynnin aikainen, kunnossapitoikkunoiden olemassaolo)
6. henkilö- ja ympäristö riskit
7. osaamistarve
8. ylläpitoinvestointien tarve

## Kunnossapidon strategian sisältö

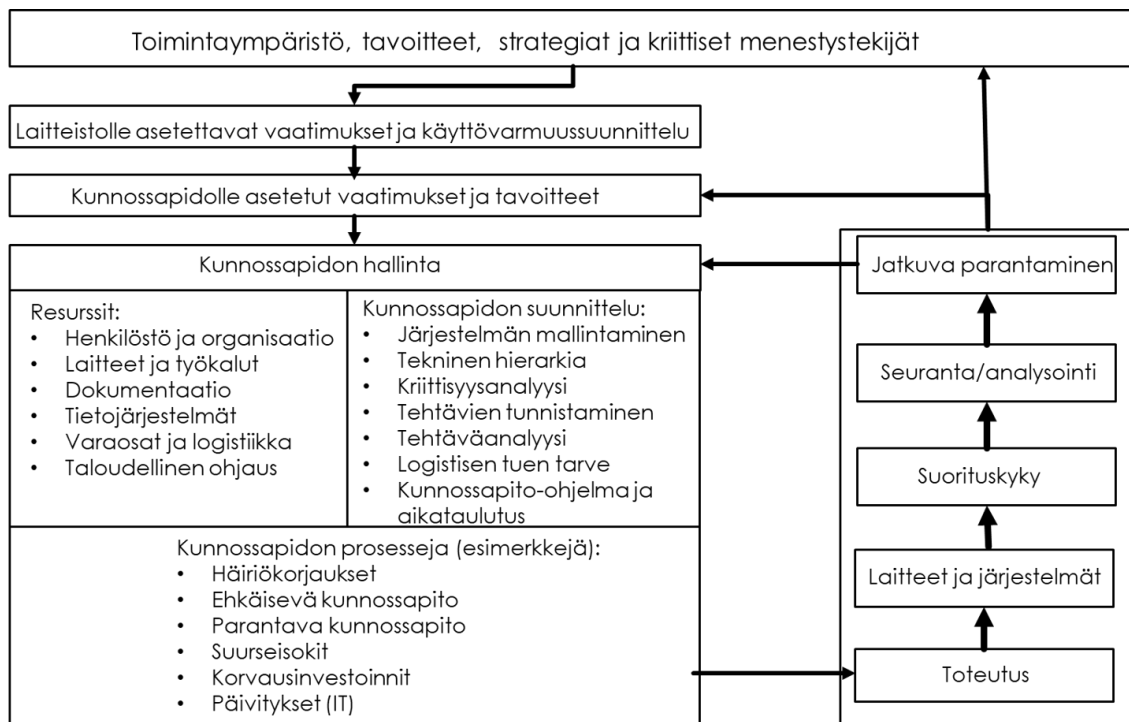
Kunnossapidon strategioiden sisällöstä esiintyy kirjallisuudessa erilaisia käsityksiä. Joskus jopa käyttövarmuuden kehitysmetodeja on sekoitettu strategioihin (RCM). Tässä luvussa kunnossapidon strategioita käsitellään kuin mitä tahansa strategiaa: ”strategia määrittää kuinka asetetut tavoitteet saavutetaan”. Näin ollen voidaan listata useita eri ulottuvuuksia, joiden suhteen strategiat voidaan määritellä.

1. mitä tavoitellaan (päämäärät, tavoitteet)
2. mihin tuotanto-omaisuudelle asetettuihin vaatimuksiin panostetaan
3. mihin omaisuuskokonaisuuksiin panostetaan
4. mitä kunnossapidon hallintajärjestelmässä kehitetään
5. suuorkorjaukset, korvausinvestoinnit ja parantavan kunnossapidon investoinnit ja kehitystoimenpiteet
6. tavoiteltu kunnossapitolajien portfolio (mitä kunnossapitolajeja halutaan lisätä tai vähentää)
7. aikakäsitteisiin liittyvä strategia
8. kunnonvalvonta ja kuntoon perustuvan kunnossapidon strategia
9. kunnossapitoresurssien kehittäminen (henkilöstö, varaosat, tilat, työkalut, dokumentaatio, järjestelmät)
10. organisaatiostrategia
11. alihankintastrategia

### *Kunnossapidon hallintajärjestelmä*

Kysymyksiä 1-3 käsiteltiin jo edellä. Kunnossapidon hallintajärjestelmän kehittäminen on erittäin tärkeä osa kunnossapidon strategiaa. Kunnossapidon kentän ja kunnossapitoprosessien kehittämiseen liittyvä strategian osa-alue on vaativa ja kokonaisvaltainen tehtävä. Kysymys on pitkälti siitä, mihin strategisesti satsataan, jotta vaatimukset toteutuvat ja sitä kautta kriittisten menetystekijöiden asettamiin vaateisiin pystytään vastaamaan. Kunnossapidon hallintajärjestelmää on havainnollistettu kuvassa 2.33. Kunnossapitoprosesseilla tarkoitetaan sitä, kuinka organisaatio haluaa eri tehtävät suoritettavan. Kunnossapidon funktiot kuvaavat, mistä kunnossapito on vastuussa ja mistä

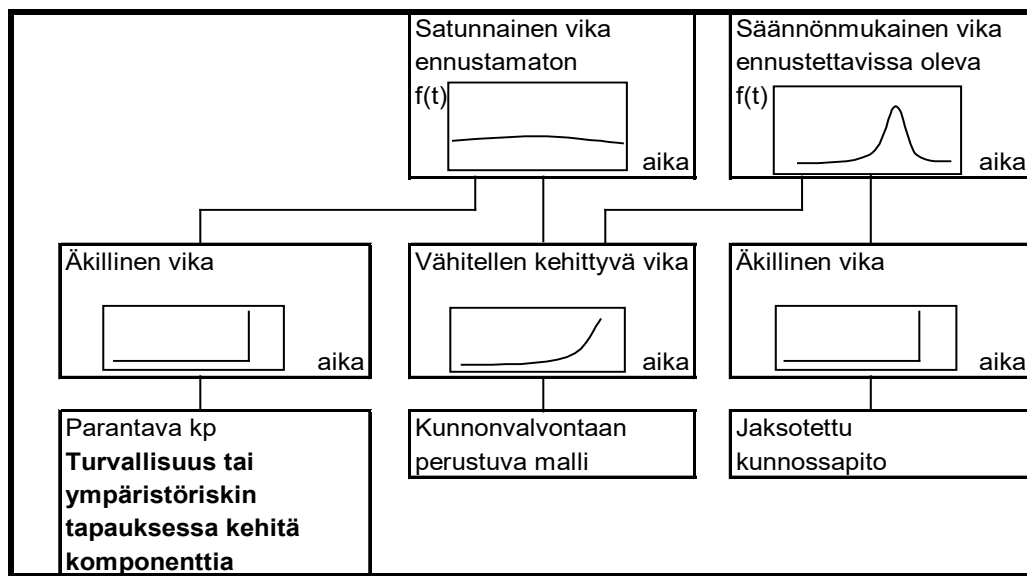
aktiviteeteista se vastaa. Sen sijaan kunnossapidon prosessit kuvaavat, miten eri aktiviteetit liittyvät toisiinsa ja mitä syötteitä niihin tulee ja mitä tuloksia niistä tulee muihin prosesseihin.



Kuva 2.33. Kunnossapidon hallintajärjestelmä

### Kunnossapitolajistrategia

Tavoiteltu kunnossapitolajien portfolio riippuu kunnossapidolle asetetuista vaatimuksista, käytössä olevasta teknologiasta ja sen käyttövarmuusominaisuuksista sekä jäljellä olevasta potentiaalista. Teknologian käyttövarmuusominaisuudet sisältävät mm. vikaantumismallit, vikaantumismekanismit, vikatiheydet ja niihin liittyvät todennäköisyysjakaumat. Osa näiden tekijöiden aiheuttamista vaikutuksista on valinnaisia, mutta osa on pitkälti ”teknisesti ennalta määrättyä”. Esimerkiksi se onko laite äkkivikaantuva, nopeasti vikaantuva vai hitaasti vikaantuva (ikääntyminen tai kuluminen), vaikuttaa valittavissa olevaan kunnossapitolajistrategiaan. Käyttövarmuusominaisuuksien vaikutusta lajistrategiaan on havainnollistettu kuvassa 2.34.



Kuva 2.34. Teknologiaan perustuva tehokkaan kunnossapitolajin valinta

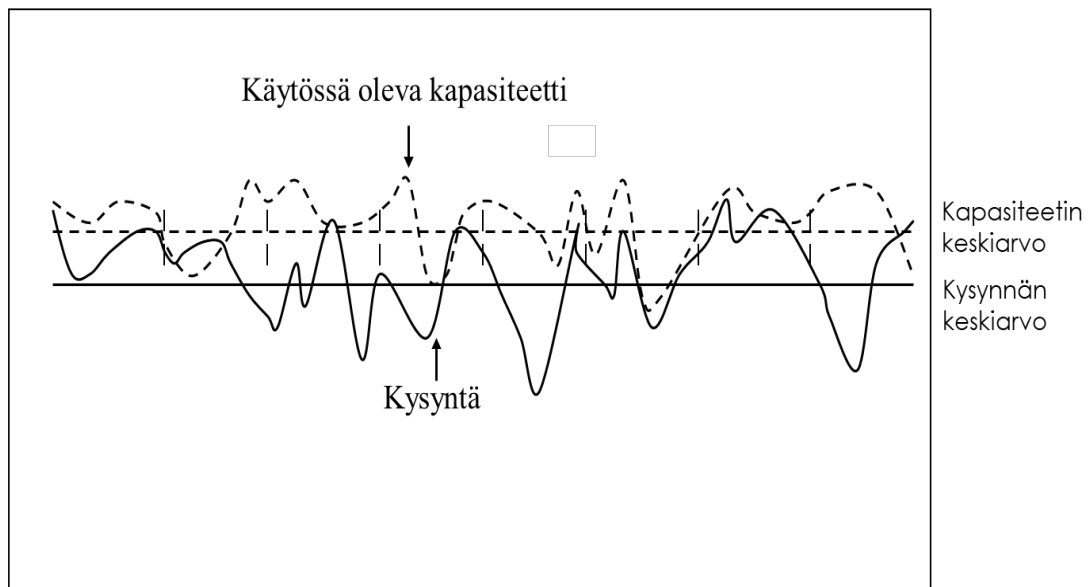
### *Aikakäsitteisiin liittyvä strategia*

Aikakäsitteisiin liittyvä strategia liittyy olennaisesti kunnossapitolajeihin. Organisaation on määrittävä, mitä aikaperusteisia toimintoja se pyrkii tehostamaan kuten esimerkiksi:

- toipumisaikaa (TTR)
- kunnossapitoaikaa (TTM)
- vikaantumisväliä (TTF)
- seisokkiväliä: suunnitellut seisokit (TBDT)
- ennakoivan kunnossapidon aikaa ja
- suurseisokkien vaatimaa aikaa

Näiden aikatekijöiden osalta voidaan panostaa keskiarvon (keskiluvun) tai hajonnan parantamiseen. Se, kumpi näistä on tehokkaampi strategia, riippuu kriittisistä menestystekijöistä sekä vallitsevasta potentiaalista. Kuvassa 2.35 on esitetty tilanne tuotanto-organisaation kohtaaman kysynnän ja sen kapasiteetin viikoittaisesta vaihtelusta ja keskiarvosta. Kuvan perusteella voidaan huomata, että kapasiteetti on keskiarvon perusteella riittävä keskimääräiseen kysyntään verrattuna, mutta viikoittaisten vaihtelujen vuoksi kysyntä ylittää kapasiteetin ajoittain. Kuvan perusteella voidaan havaita, että yrityksen tuotanto-omaisuuden tuotantokapasiteetti on riittävä, jos kapasiteettivaihteluun liittyvää hajontaa voidaan pienentää. Oletetaan, että kapasiteettivaihtelu riippuu kunnossapidon vaatimista toimenpiteistä. Jos yritys haluaa lisätä maksimikapasiteettia, sen pitäisi kasvattaa keskimääräistä kapasiteettia ja pienentää hajontaa, mutta jos se haluaa lisätä kykyä vastata nykyiseen kysyntään, hajonnan vähentäminen saattaisi olla riittävä toimenpide.

Määrä



Aika

Kuva 2.35. Keskiarvon ja hajonnan vaikutus tuotantokapasiteetin riittävyyteen

Kuvassa 2.35 esitettiin keskiarvojen ja hajontojen vaikutus yrityksen kykyyn vastata viikoittaiseen kysyntään. Yritys voi vaikuttaa kunnossapitoaikoihin ja niiden hajontoihin edellä mainittujen TTR, TTM, TTF jne. avulla. Seuraavassa listassa on kuvattu niitä tekijöitä, joiden avulla keskiarvoja tai hajontoja voidaan parantaa.

Kunnossapitoaikaa voidaan lyhentää esimerkiksi

- lyhentämällä aktiivista kunnossapitoaikaa
- pidentämällä keskimääräistä seisokkiväliä
- lyhentämällä odotusaikoja
- kehittämällä korjausmenetelmiä

- kehittämällä kunnossapitäjien ammattitaitoa
- lisäämällä suunniteltua kunnossapitoa
- hyödyntämällä kuntoon perustuvaa kunnossapitoa
- toimintavarmuutta ja kunnossapidettävyyttä parantamalla
- kehittämällä työn organisointia

Kunnossapitoaikojen hajontoja voidaan pienentää esimerkiksi

- standardisoimalla odotusajat
- kehittämällä vakiokorjausmenetelmiä toistuviin vikoihin
- parantamalla ennustuskkyä
- parantamalla toimenpiteiden ajoitusta
- parantamalla kunnossapitäjien ammattitaidon tasalaatuisuutta
- lisäämällä suunniteltua kunnossapitoa
- hyödyntämällä kuntoon perustuvaa kunnossapitoa
- systematisoimalla kuntoarvioiden suorittamisen
- kehittämällä työn organisointia

Kuntoon perustuvan kunnossapidon (*condition based maintenance, CBM*) kehittäminen on tehokas keino kunnossapidon tuloksellisuuden ja kustannustehokkuuden kehittämisessä. CBM strategia, sisältää

- tavoitteet referenssiarvoineen
- potentiaalin arviointi
- kohteet, joihin panostetaan (panos-tuotos-analyysi)
- aikataulu
- menetelmät, joita käytetään
- henkilöstön kehittämistarpeet

### ***Kunnossapidon resursseihin liittyvät strategiat***

Kunnossapidon resursseihin liittyvät strategiat voivat henkilöstön osalta liittyä esimerkiksi tasalaatuisuuteen, monitaitoisuuteen, itseohjautuvuuteen, IT-osaamiseen, sertifiointiin, peruskoulutusvaatimuksiin jne. Varaosavarastojen ja logistiikan osalta strategisia kysymyksiä ovat mm. varastojen arvo suhteessa tuotanto-omaisuuden kokoon, toimitustäsmällisyys ja -varmuus, yhteisvarasto-osuus, toimittajien määrä, suorien toimitusten määrä, varaosatoimintojen kustannustehokkuus jne.

Kunnossapidon resursseihin liittyvä strategia voi liittyä myös kunnossapidossa hyödynnettyjen teknologioiden käyttöön. Tällaisia voivat olla esimerkiksi kunnossapidon digitalisointi (esimerkiksi IOT), robotiikka, automattinen kunnossapito, mobiili dokumenttien ja tiedonhallinta, lisätty todellisuus, erilaisten analysointi- ja päätöksentekomenetelmien käyttö (kuten FMEA, FMECA, RCM, FTA, RBD, RBM) jne.

### ***Organisaatio-/alihankintastrategia***

Organisaatiostrategia voi sisältää kannanottoja käyttöhenkilöstön ja kunnossapitohenkilöstön työnjakoon, rooleihin ja kunnossapitotoiminnon sisäiseen organisointiin. Viitekehyksen tähän määrittelyyn voivat muodostaa esimerkiksi kunnossapitotasot (Kunnossapidon luokittelu sen monimutkaisuuden perusteella/Maintenance levels) tai kunnossapidon porrastus (organisaatio, jossa kunnossapito toteutetaan. Kunnossapitotasot on määritelty EN 13306 (2017) standardissa:

Taso 1: yksinkertaisia tehtävät, koulutustarve vähäinen,

Taso 2: perustehtävät, joissa vaaditaan pätevää henkilöstöä ja tarkkaa ohjeistusta,

Taso 3: monimutkaiset tehtävät, joissa vaaditaan pätevää teknistä henkilöstöä ja tarkkaa ohjeistusta,

Taso 4: tehtävät, jotka vaativat menetelmän tai teknologian hallintaa ja erikoistunutta teknistä henkilöstöä,

Taso 5: tehtävät, joiden suorittaminen vaatii kohteen valmistajan tai erikoistuneen toimittajan tietämystä ja erikoistyökalut/välineet.



Kunnossapidon porrastus voi sisältää esimerkiksi seuraavia vaihtoehtoja:

1. suoritetaan kentällä (esim. tuotantoprosessissa),
2. suoritetaan työpajalla,
3. suoritetaan laitevalmistajan toimesta.

Organisaatiostrategiassa voidaan edelleen määritellä kunnossapidon organisoinnin yleiset periaatteet kuten hajautuksen taso, erikoistuminen esimerkiksi ehkäisevään kunnossapitoon, korjaavaan kunnossapitoon tai käynnissäpidon perustehtäviin.

Organisaatiostrategia voi sisältää kannanottoja käyttöhenkilöstön ja kunnossapitohenkilöstön työnjakoon, rooleihin ja kunnossapitotoiminnon sisäiseen organisointiin. Kuten aiemmin on todettu, se voi sisältää myös kannanottoja kunnossapidon rooliin organisaation muissa prosesseissa. Se voi sisältää myös kannanoton toimintojen alihankintaan. Kuvassa 2.36 on esitetty Williamsonin (1985) näkemys tehokkaasta hallinnan muodosta liiketoimifrekvenssin ja investoinnin tai hankinnan erityisluonteen funktiona. Tämä liiketoimikustannusten teoriaan perustuva malli on tarkoitettu yleisesti ottaen alihankintapäätösten selittämiseen, mutta se soveltuu myös kunnossapitoon. Kuvan tarkastelussa standardeja matalan yritysکوhtaaisuusasteen kunnossapitopalveluita voivat olla siivous, telinepalvelut, nostopalvelut, kiinteistökunnossapito, standardien laitteiden kunnossapitoa vähemmän kriittisiin kohteisiin, jne.

Teknologiayritysten palvelut voivat sijoittua useaan eri kategoriaan, mutta usein ne voidaan sijoittaa sarakkeeseen ”välimuoto” eli standardin ja ”asset-spesifin” palvelun väliin. Tällaisia palveluita voivat olla esimerkiksi paperikoneiden, prosessinosturien, sähkökäyttöjen tms. toimittajien tarjoamat kunnossapitopalvelut ydinprosessiin. ”Asset-spesifiin” luokkaan voidaan sijoittaa kunnossapitopalvelut, jotka kohdistuvat hyvin yritysکوhtaaiseen teknologiaan kriittisissä kohteissa ja jotka vaativat erikoisosaamista yrityksen tuotantoprosessin osalta.

Kunnossapitostrategioiden laatiminen ja kunnossapidon suunnittelun kriittisimmät kohdat saatavat kuulua tähän luokkaan. Williamsonin tarkastelussa pystysuoralla akselilla on esitetty frekvenssin muodossa liiketoiminnan luonne, joka voi olla satunnainen (silloin tällöin tapahtuva) tai toistuva (jatkuvaa vaihdantaa). Näiden kahden ulottuvuuden avulla voidaan kuvata 6 erilaista kombinaatiota eli erilaista maailmaa, jotka Williamson pelkistää neljään: 1) standardi kohde voidaan aina antaa markkinavoimien hoidettavaksi (klassinen sopimustilanne). Se on kyseessä olevassa tilanteessa tehokkain hallinnan muoto. 2) Kun tarkastelun kohde sijoittuu luokkaan ”välimuoto”, syntyy kaksi eri tilannetta: satunnaisten transaktioiden tapauksessa tehokkain hallinnan muoto on kolmikantaperiaate eli kunnossapitopalvelu voidaan alihankkia ja sopimussuhteen hallinta perustuu kolmannen -osapuolen, ”tuomarin” (välitystuomistuin), puolueettomiin ratkaisuihin. 3) Toistuvien transaktioiden tapauksessa, jossa päämiehen kontrolli säilyy tapahtumien toistuvuuden takia, voidaan käyttää pitkäkestoista bilateraalista hallintaa. Tällöin hallinta perustuu keskinäisiin sopimuksiin. 4) ”Asset-spesifin” kohteen ja toistuvien transaktioiden osalta Williamsonin malli suosittaa integroitua (”tee se itse”) hallintaa. Sen sijaan satunnaisten transaktioiden tapauksessa sekä integroitu että kolmikantahallinta ovat mahdollisia. Kunnossapitoon sovellettuna Williamsonin malli voisi tarkoittaa esimerkiksi kuvan 2.37 mukaista tulkintaa.

		HANKINNANLUONNE		
		STANDARDI	VÄLIMUOTO	ERITYINEN
FREKVENSSI	SATUNNAINEN	Markkinavoimat  (klassinen sopimustilanne)	Kolmikantahallinta	Integroitu hallinta
	TOISTUVA		Bilateraalinen hallinta	

Kuva 2.36. Williamsonin liiketoimikustannusten teoriaan perustuva alihankintamalli (Williamson, 1985)

Uudet asiantuntijapalvelutarpeet, jotka johtuvat digitalisaatiosta, IOT-tekniikasta ja muustakin teknologisesta kehityksestä, saattavat jonkin verran horjuttaa Williamsonin mallin toimivuutta. Nämä kehitykset huomioiden Williamsonin liiketoimikustannusten teoria on varsin toimiva myös kunnossapidon alihankintastrategioiden määrittelyssä.

Liiketoimi			
	Standardi	Välimuoto	Asset spesifi
Satunnainen liiketoimi	Satunnainen kunnossapitopalveluiden osto (esimerkiksi rajoitettuja palveluja suurseisokkeihin )	Asiantuntijapalveluiden hankinta (esimerkiksi tarkastukset ja niitä seuraava kunnossapito)	Kunnossapidon johtamisjärjestelmän luominen ja kehittäminen
Toistuva liiketoimi	Päivittäiset standardit palvelut (esimerkiksi voitelupalvelut ja siivous)	Tuotespesifin kunnossapidon hankinta (esimerkiksi paperitehtaan prosessinosturit)	Toistuvat aktiviteetit, jotka vaativat hyvää prosessi- ja paikallistuntemusta

Kuva 2.37. Williamsonin teorian soveltaminen kunnossapitoon (esimerkki)

Hankintaa voidaan katsoa myös toisin kriteerein ja ostotapahtuman näkökulmasta. Tämä on tehty kuvassa 2.38. Kuvassa on tehokasta hankintastrategiaa arvioitu hankintafrekvenssin ja liiketoimen tärkeyden perusteella. Tilanteessa, jossa frekvenssi on alhainen ja tärkeys matala, tehokas hankintastrategia on tehokas ostaminen. Tämä tarkoittaa sitä, että hankinta saadaan suoritettua mahdollisimman vähällä vaivalla ja hallinnollisin kustannuksin. Jos taas tärkeys on suuri ja frekvenssi on alhainen, palvelun saatavuus yleensä ja palveluntarjoajan laatumaine on tärkeä, koska hankinnan satunnaisuus ei anna mahdollisuutta korjata mahdollista väärää päätöstä. Hankintafrekvenssin ollessa korkea ja liiketoimen tärkeys suuri, pitkän aikajänteen yhteistyö on tehokas hankintastrategia. Viimeisessä tapauksessa hankintafrekvenssi on suuri, mutta liiketoimen tärkeys on matala. Tällöin palvelutoimittajien väliseen hintakilpailuun perustuva hankintastrategia on tehokas.

		Hankintafrekvenssi	
		Matala	Suuri
Liiketoimen tärkeys	Suuri	Palvelun saatavuus ja laatumaine on tärkeää	Pitkän aikajänteen yhteistyö (yhteistoimintasuhde)
	Matala	Tehokas ostaminen (hyvin tunnettu, helppo kontaktoida)	Antaa palvelutoimittajien kilpailla (kustannustehokkuus)

Kuva 2.38. Hankinnan ”menestystekijät” liiketoimifrekvenssin ja sen tärkeyden perusteella

Edellä esiteltiin taksonomioiden avulla erilaisia organisaatiokonteksteja, jotka vaikuttavat siihen minkälainen alihankintastrategia on tehokas. Alihankinnan järjestyttä ja tehokkuutta voidaan lähestyä myös yksittäisten vaikuttavien tekijöiden kautta. Taulukossa 2.10 on esitetty 7 eri tekijän vaikutus alihankinta-alttiuteen.

Taulukko 2.10. Organisaation kunnossapidon alihankinta-alttiuteen vaikuttavia tekijöitä

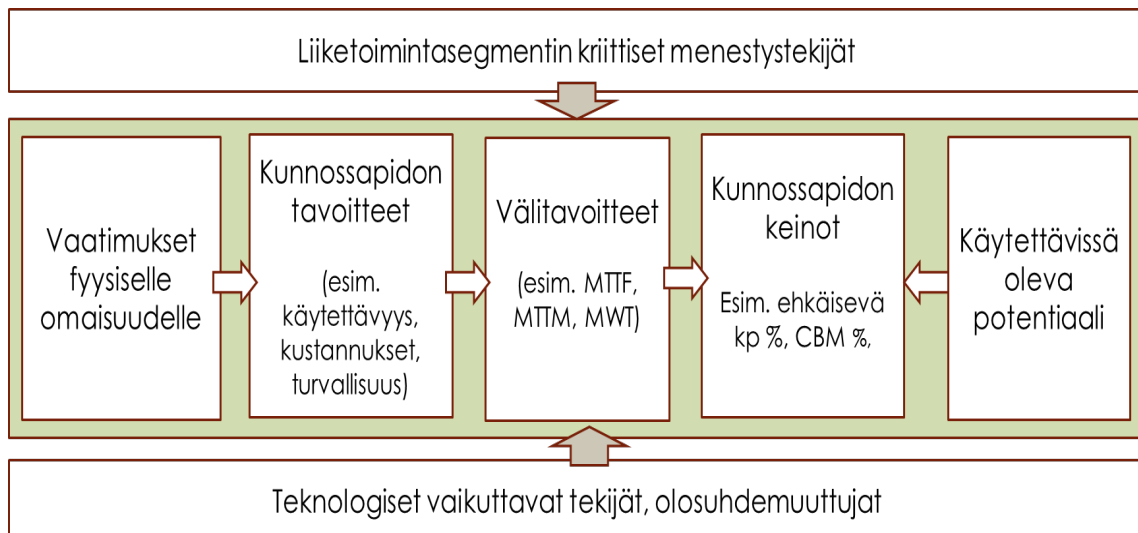
Vaikuttava tekijä	Vaikutus
Tuotannonmenetyksen yksikkökustannus	Korkea yksikkökustannus lisää kohteen kriittisyyttä, mikä asettaa merkittäviä laatuvaatimuksia alihankinnalle.
Tuotantojärjestelmän rakenne	Korkean integraatioasteen tuotanto lisää tuotannon menetyksen yksikkökustannuksia ja kohteen kriittisyyttä, mikä asettaa korkeita laatuvaatimuksia alihankinnalle.
Laitteiston kriittisyys	Kuten yllä
Mittakaava	Mitä suurempi kohdeorganisaation on, sitä vaikeampi alihankkijan on saavuttaa mittakaavaetuja päämieheen nähden. Tämä koskee myös osaamisen monipuolisuutta.
Kunnossapitomarkkinoiden kypsyys	Esimerkiksi markkinoilla on useampia palvelun tarjoajia, markkinoiden pitäisi toimia (todellista kilpailua), markkinoiden pitäisi pystyä tuottamaan vaadittuja ominaisuuksia (esimerkiksi mittakaavavaikutusta), on olemassa todellisia kannusteita tehokkaaseen toimintaan, palvelutoimittajat pystyvät vastaamaan sopimusten sanktioista.
Tuotantojärjestelmän kompleksisuus	Kompleksi systeemi voi vaatia esimerkiksi hyvin monipuolisia ja monitasoisia pätevyyskykyjä. Voiko palveluntarjoaja uskottavasti niitä tarjota.
Pätevyysvaatimukset	Kuten yllä

## Kunnossapidon strategian esittäminen ja yhteenveto

### Tunnuslukumalli

Kunnossapidon strategia voidaan pelkistetyesti esittää tunnuslukumallin avulla, joka myös kuvaa, mihin strategiset valinnat perustuvat. Malli seuraa aikaisemmin tässä luvussa esitettyä liiketoimintalähtöistä määrittelyprosessia, mutta siihen on lisätty kaksi tärkeää tekijää: teknologiset olosuhdetekijät sekä välitavoitteet (Kuva 2.39):

- vaatimukset fyysiselle omaisuudelle perustuvat segmenttikohtaisiin kriittisiin menestystekijöihin,
- kunnossapidon tavoitteet toteuttavat nämä vaatimukset,
- välitavoitteet ovat tavoitteita, joita ei voi vain päättää, mutta jotka johtavat tavoitteiden toteutumiseen,
- kunnossapidon keinot ovat suunniteltavia ja päätettäviä toimenpiteitä, jotka johtavat välitavoitteisiin,
- käytettävissä oleva potentiaali kertoo sen, missä meillä on eniten kehittämisen mahdollisuuksia ja lopuksi.
- teknologiset olosuhdemuuttajat auttavat tulkitsemaan tavoitteita ja saavutettavia tuloksia, auttavat ymmärtämään kehittämispotentiaalia sekä valitsemaan teknologiseen ympäristöön sopivia toimenpiteitä.



Kuva 2.39. Kunnossapitostrategian tunnuslukuperusteinen yhteenveto

Edellä kuvattua viitekehystä voidaan soveltaa organisaatiokontekstiin sopivaksi. Kuvassa 2.40 on esitetty infrastruktuurisektorilla toteutettu lähestymistapa ja kuvassa 2.41 perinteiseen tuotantoympäristöön istuva malli. Tuotanto-organisaation sovellus on esimerkki siitä, mitä eri sarakkeissa voi olla eikä ole esimerkki siitä, mitkä nimenomaiset asiat johtavat välitavoitteisiin ja siitä edelleen tavoitteisiin.

Vaihe 1	Vaihe 2	Vaihe 3	Vaihe 4	Vaihe 5	Vaihe 6	Vaihe 7
Liiketoiminta-segmenttien määrittely	Segmenttikohittaiset kriittiset menestystekijät	Painoarvot	Kriittisten menestystekijöiden toteutumista mittaavat avaintunnusluvut	Kriittisten menestystekijöiden toteutumista mittavat kunnossapitosidonnaiset avaintunnusluvut	Omaisuuksokokonaisuudelle asetettavat priorisoidut vaatimukset kunkin menestystekijän osalta	Omaisuuksokokonaisuuksille asetettavat eritellyt yksityiskohtaiset vaatimukset ja niitä vastaavat toimenpiteet.
Segmentti 1	Täsmällisyys	5	Myöhästymiset kpl/v	Kunnossapidollisista syistä johtuvat myöhästymiset kpl/vuosi	Lyhyt MTTR ja pieni hajonta Tehokas kunnonvalvonta	Toistuvien töiden standardisoinnista Ultraäänitarkastukset >x kpl/vuosi

Kuva 2.40. Ote strategisesta yhteenvedosta infrastruktuurisektorilla

	Vaatimukset tuotanto-omaisuudelle	Kunnossapidon tavoitteet	Kunnossapidon olosuhdemuuttujat	Kunnossapidon seurantamuuttujat (Valitavoitteet)	Keinomuuttujat	Kuvaavat muuttujat
Kriittiset menestystekijät	OEE	esim. * käytettävyyys * (epäkäytettävyyys-kust + kpkust)/JHA * tuotteen laatu	esim. * käyttöaste * teknologia * tuotantojärjestelmän rakenne	esim. * MTTF * MWT * MTTR * MTM	esim. * ehkäisevä kp % * suunnitteluaste % * varaosat / JHA * alihankinta-aste %	esim. * varaston kiertonop. * mekaanisen kunnossapidon osuus
	Tuotantokustannukset	esim. * kunnossapidon kustannukset / JHA * kunnossapidon kustannukset / tuotannon määrä	esim. * käyntiaste * teknologia * toiminnan laajuus * tuotantojärjestelmän rakenne	esim. * MRT * MTTR * MTM * joustavuus * varaosat / JHA	esim. * ehkäisevä kp % * suunnitteluaste % * alihankinta-aste %	esim. * materiaalikust. % * kohdistetut kust. % * työn yksikkökust
	Tuotanto-prosessin laatu	esim. * sisäinen asiakas-tyytyväisyys * suunnitteluaste * työtyytyväisyys	esim. * teknologia * tuotantojärjestelmän rakenne	esim. * MWT * MTM * Onnettomuudet * Poissaolot * Reklamaatiot	esim. * palaute asiakkaalle * monitaitoisuus * lupauksen pitäminen * parantava kunnossapito	esim. * henkilöstön ikärakenne

Kuva 2.41. Esimerkki strategisesta yhteenvedosta tuotanto-organisaatiossa

### Kunnossapidon strateginen tehokas portfolio

Kuten aiemmin tässä luvussa on todettu, kunnossapidon toimenpideportfolion on täytettävä tuotanto-omaisuudelle asetettavat vaatimukset ja samanaikaisesti oltava taloudellisesti tehokas. Tässä yhteydessä tällä tarkoitetaan sitä, etsitään toimenpideportfoliota, joka tuottaa parhaan panos-tuotosuhteen ja pystytään toteuttamaan käytettävissä olevan budjetin avulla (Kuva 2.42).

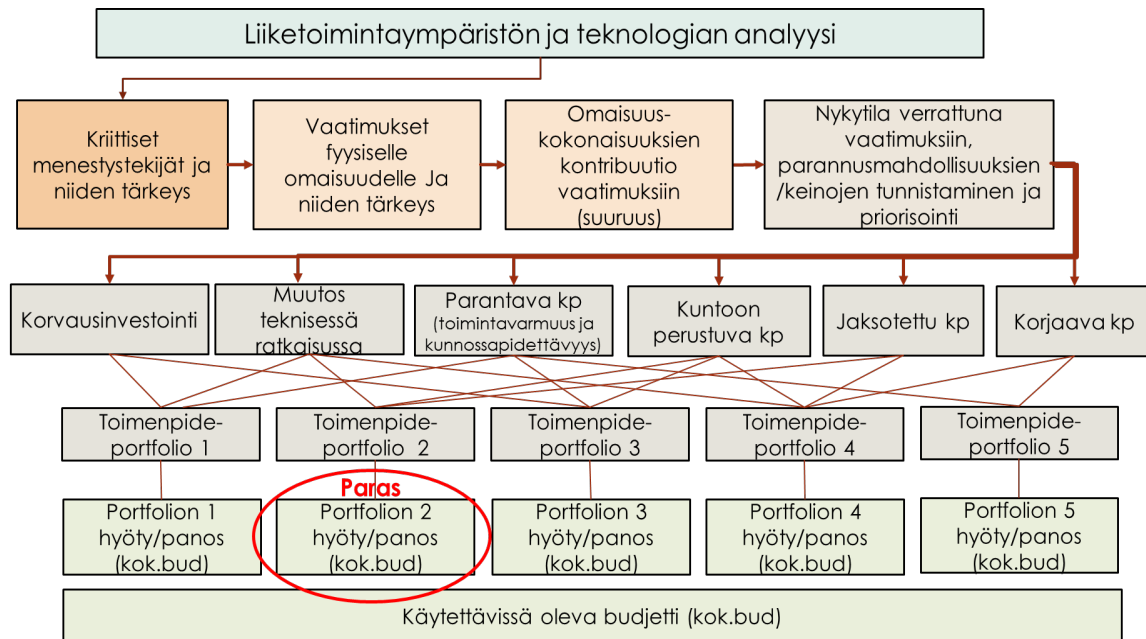
Toimenpideportfolio voi koostua esimerkiksi:

- korvausinvestoinneista,
- teknisistä ratkaisuista (modifikaatioista)
- parantavasta kunnossapidosta
- kunnonvalvonta investoinneista
- jaksotettuun kunnossapitoon panostamisesta tai
- korjaavan kunnossapidon tehostamisesta

Strategisen portfolion määrittely käynnistyy kuten omaisuudenhallintastrategian määrittely (Kuva 2.42):

1. määritellään kriittiset menestystekijät
2. määritellään vaatimukset fyysiselle omaisuudelle
3. määritellään omaisuuskokonaisuuksien kontribuutio vaatimuksiin

4. verrataan nykytilaa vaatimuksiin
5. selvitetään käytettävissä oleva potentiaali
6. tunnistetaan parannusmahdollisuudet ja keinovalikoima sekä niiden prioriteetit
7. muodostetaan kohteittain vaihtoehtoisten toimenpiteiden joukko
8. muodostetaan vaihtoehtoiset portfoliot
9. arvioidaan kunkin portfolion panos-tuottosuhde (panos-hyötysuhde)
10. verrataan vaihtoehtoisia portfolioita käytössä olevaan budjettiin
11. selvitetään, onko kannattavaa poiketa alustavasta budjetista



Kuva 2.42. Kunnossapidon strategisen portfolion määrittely

## Keskeiset opit

- Kunnossapidon strategia riippuu paljolti organisaation liiketoimintaympäristöstä ja käytössä olevasta teknologiasta. Tämä taas näkyy tuotanto-omaisuudelle asetetuissa vaatimuksissa, jotka tukevat organisaation kriittisiä menestystekijöitä.
- Kunnossapidon strategian ensimmäiset askeleet otetaan jo laitteiston hankintavaiheessa konseptisuunnittelun, karkeasuunnittelun sekä yksityiskohtaisen suunnittelun yhteydessä. Laitoksen käyttövarmuussuunnittelu toimii kunnossapidon strategian perustana.
- Kunnossapitostrategia ei perustu pelkästään kunnossapitolajistrategiaan tai ulkoistamisstrategiaan, vaan se kattaa kaikki kunnossapidon toiminnot sekä teknologiset ulottuvuudet perustuvat useille sisältö ja ulottuvuudet-eri osastrategiat
- Alihankinta- ja ulkoistamisstrategiassa määräytyy useiden eri tekijöiden perusteella eikä se ole vain on-off-päätös.
- Kunnossapitoaktiviteettien strateginen portfolio on kehittämisen lähtökohtana parempi kuin yksittäinen toimenpide.

# 2.5

## KRIITTISYYSTARKASTELUT OSANA KUNNOSSAPIDON SUUNNITTELUA

*Pasi Valkokari*

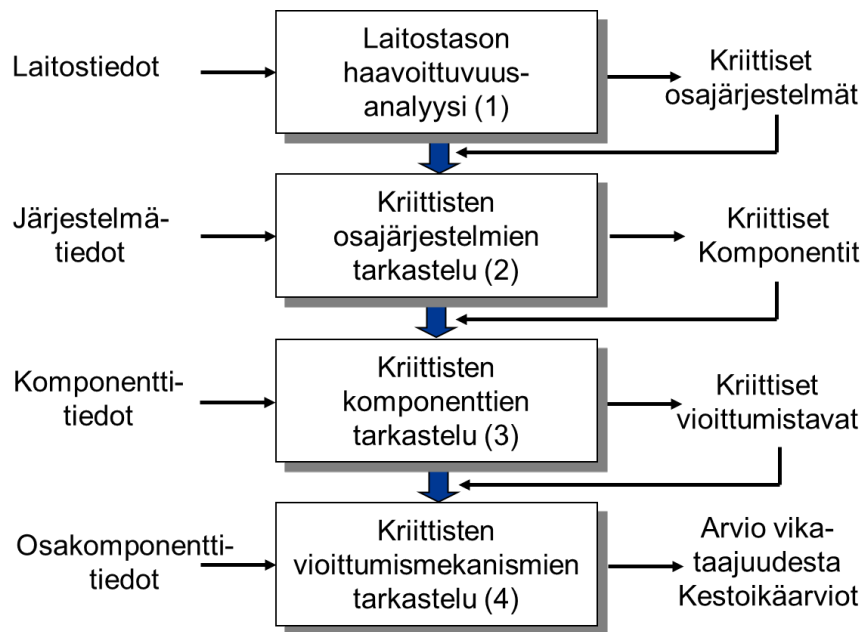
### Johdanto

Kuten luvussa 2.7. todettiin, niin tuotanto-omaisuuden hallinnan päätökset liittyvät usein elinjaksojohtamiseen ja toimenpiteiden ajoitukseen. Organisaation eri toiminnoilla (tekninen suunnittelu, tuotanto, kunnossapito, osto, talous ja johto) saattaa olla hyvinkin erilainen näkemys siitä, mitä pitäisi tehdä ja milloin pitäisi tehdä. Kaikilla funktioilla pitäisi kuitenkin olla sama viitekehys, jonka perusteella päätökset arvioidaan. Tämän viitekehyksen pitäisi sisältää listan päätöksiin vaikuttavista merkittävistä tekijöistä.

Tuotantolaitteiston osalta kriittisyysanalyysi on suhteellisen nopea keino tunnistaa tuotantojärjestelmien merkittävimmät laitteistojen osat yritystoiminnan kannalta keskeisten riskien osalta ja siten luoda yhteisymmärrystä organisaatioiden eri toimintojen välille tuotantolaitteiston merkittävimmistä kohteista. Useimmiten se toteutetaan työryhmyöskentelyssä asiantuntija-arvioiden avulla. Kriittisyystarkastelun tuloksena on mahdollista luoda käsitys prosessin seurausvaikutuksiltaan merkityksellisemmistä riski- ja kehityskohteista sen komponenttien osalta. Tätä lisättyä ymmärrystä voidaan hyödyntää esim. seuraavia tavoitteita haluttaessa:

- Pikaiset parannukset luotettavuuden ja huollon suunnittelussa
- Toimintaympäristön muutokset, kuten vaihtuva kysyntätilanne
- Pidemmän aikavälin korvausinvestointien ajoitus ja pitkän aikavälin tuottavuusmahdollisuuksien tunnistaminen
- Henkilö- ja ympäristöturvallisuuden parantaminen

Kriittisyysanalyysi on potentiaalinen lähtökohta näiden tavoitteiden toteuttamiseen, usein sitä täydentämää on hyvä käyttää muitakin menetelmiä (Kuva 2.43).



Kuva 2.43. Hierarkkisen käyttövarmuusanalyysin periaatekaavio

Mikäli kriittisyystarkastelu ei tuo riittävästi tietoutta päätöksen tekoa tukemaan käyttövarmuuden kehittämiseksi, voidaan käyttää sitä täydentäviä lähestymistapoja. Kriittisyystarkastelua täydentävät analyysit sisältävät esimerkiksi seuraavia lähestymistapoja:

- Failure and Mode Effect Analysis (FMEA), suomeksi Vika- ja vaikutusanalyysi (VVA) – perusmenetelmä vaarojen tunnistamiseen ja taajuuden analysointiin. Menetelmällä on mahdollista tunnistaa tarkastelukohteen vikamuodot ja niiden vaikutukset. Menetelmän laajennus, vika- vaikutus- kriittisyys- analyysi (VVKA) sisältää tunnistettujen vikaantumisten kriittisyyden arvioinnin (*Fault Modes, Effect and Criticality Analysis*, FMECA).
- Fault Tree Analysis (FTA), suomeksi Vikapuuanalyysi (VPA), on vaarojen tunnistamis- ja taajuusanalyysitekniikka, jossa tunnistetaan ensin ei-toivottu tapahtuma ja määritetään kaikki siihen johtavat tapahtumaketjut. Analyysi dokumentoidaan graafisessa, puumaisessa, muodossa.
- Event Tree Analysis (ETA), eli Tapahtumapuuanalyysi (TPA) – vaakasuuntainen puumainen kaavio, jossa esitetään induktiivisella päättelyllä erilaisista alkutapahtumista mahdollisten seurausten määrittelemiseksi,
- Hazard and Operability Study (HAZOP), eli Poikkeamatarkastelu vaarojen tunnistamisen perusmenetelmä, jossa arvioidaan tarkasteltavan kohteen kukin osa systemaattisesti ja tutkitaan miten poikkeamat suunnittelutavoitteista voivat sattua ja aiheutuuko niistä haitallisia seurauksia.
- Life Cycle Costing (LCC), jota voidaan hyödyntää eri kehitysvaihtoehtojen taloudellisiin tarkasteluihin kannattavuuden arvioimiseksi.
- Reliability Block Diagram (RBD), eli luotettavuuslohkokaavio on taajuusanalyysitekniikka, jossa muodostetaan järjestelmän ja sen redundanssien malli järjestelmän kokonaisluotettavuuden arvioimiseksi.
- Risk Based Inspection (RBI), tunnetaan Suomessa nimellä riskiperusteinen tarkastus – rakenteelliseen riskianalyysiin perustuva optimoitu rakennejärjestelmän tarkastusohjelma.
- Risk Informed In-Service Inspection (RI-ISI), joka Suomessa tunnetaan nimellä riskitietoinen käytön aikainen tarkastus – rakenteelliseen riskianalyysin perustuva optimoitu rakenteiden tarkastusohjelma.
- Probabilistic Risk/Safety Analysis (PRA/PSA), tunnetaan Suomessa nimellä todennäköisyyspohjainen turvallisuusanalyysi – mm. avaruusteknologiassa ja ydinvoimaloissa sovellettu riskianalyysimenetelmä, jossa tunnistetaan ne tapahtumaketjut, joista onnettomuudet muodostuvat, ja arvioidaan näiden tapahtumaketjujen tapahtumistaajuudet ja seurausvaikutukset.



Tämä kappale keskittyy kuitenkin lähinnä PSK 6800 (2008) standardissa esitetyn kriittisyysluokittelun lähestymistavan soveltamisen ja hyödyntämisen esittelyyn organisaatiotason yhteisen käsityksen muodostamisessa tuotantolaitteiston kriittisyyden osalta.

## Kriittisyystarkastelun vaiheet

Standardin PSK 6800 mukaan ”Kriittisyys on ominaisuus, joka kuvaa kohteeseen liittyvän riskin suuruutta. Kohde on kriittinen, jos siihen liittyvä riski (henkilöiden loukkaantumiseen, merkittäviin aineellisiin vahinkoihin ja tuotannon menetykseen tai muihin ei hyväksyttäviin seurauksiin liittyvä riski) ei ole hyväksyttävällä tasolla. Riskin suuruudella tarkoitetaan vikaantumisen vaikutuksen ja todennäköisyyden tuloa.”

Kriittisyystarkastelu sisältää seuraavat vaiheet. Vaiheiden esittely ei etene täysin PSK 6800 standardissa esitetyn prosessin mukaisesti, vaan se sisältää käytännön caseista kerättyjä näkemyksiä tarkastelun tekemisen osalta.

Tarkastelun laajuuden ja käytettävien kertoimien ja niiden laadullisten kuvausten määrittäminen.

- Tässä vaiheessa päätetään tarkastelun laajuus. Tarkastelun lähtökohta voi olla rajattu, jolloin liikkeelle on mahdollista lähteä esimerkiksi kriittisimmiksi tunnistetuista toiminnoista. Laajasti ajateltuna tarkastelussa voidaan käsitellä ison tehdasintegraatin kaikkia toimintoja ja siten koko tuotannollista toimintaa.
- Tarkastelun ensimmäisiä tehtäviä on myös määrittää kriittisyystarkastelussa käytettävät kertoimet ja niiden laadulliset kuvaukset. Esimerkiksi, kuinka pitkää tuotannon keskeytystä vastaa vähäinen haitta tuotannolle.
- Myös käytettävien kriittisyyskertoimien skaalasta on hyvä tehdä päätös. Taulukossa 2.11 on käytetty asteikon arvoja 0 – 4 eri kriittisyysluokille. Myös erilaisia skaaloja on mahdollista käyttää. Tällöin on kuitenkin hyvä arvioida luokkien ja painokertoimien välistä yhteyttä yksittäisen kriittisyystekijän painotuksen näkökulmasta.
- Määrittelyvaiheessa on hyvä tunnistaa myös vikaantumisen todennäköisyyttä [p] kuvaavat kertoimet ja niiden laadulliset kuvaukset. Tyypillisesti tässä tehtävässä on käytetty asteikkoa 0-5, jossa arvo 0 tarkoittaa useimmiten sitä, ettei vikaantumisen katsota olevan todennäköinen laitteen eliniän aikana. Vastaavasti arvo 5 viittaa lyhyeen (esim. 0–2 kk) vikaväliin.
- Tarkastelussa kriittisyysarvojen lisäksi määrittää kunkin kriittisyysluokan kustannustekijä. Kustannustekijä on määriteltävissä tuotannon ja laatumenetyksille sekä korjaus- ja seurauskustannuksille. Tämä antaa arvokasta lisätietoa mahdollisten vikaantumisten kokonaisseurauskustannuksista ja siten tukee kehitystoimenpiteiden laajuuden mitoittamista.

Tarkastelussa käytettävän tuotannon menetyksen painoarvo  $W_p$ .

- Painoarvokertoimet kuvaavat laitoksen prosessitekniisten toimintojen keskinäistä riippuvuutta. Standardi PSK 6800 ehdottaa painokertoimen määrittämistä tarkasteltavan prosessin hierarkian ja sen kokonaiskapasiteetin jakautumisen mukaisesti. Tämä lähestymistapa on oiva lähtökohta, kun tarkastelukohteeksi on valikoitunut useita tuotantoprosesseja käsittelevä kokonaisuus. Se auttaa ymmärtämään prosessin eri vaiheiden merkityksen mahdollisten tuotantomenetysten ja siten muodostuvan kriittisyystekijän suuruuteen. Kuitenkin käytännössä usein tarkastelussa on yksittäinen tuotantolinja, joten painokertoimen määrittäminen toteutetaan usein muilla perusteilla kuin hierarkkisella tuotannon vaikutuskertoimien määrittästä tukevalla kaaviolla.

Määritetään painokertoimet muille tarkasteluun otettaville kriittisyystekijöille.

- Tuotantomenetyksen lisäksi tyypillisiä kriittisyystekijöitä ovat mm.:
  - Työturvallisuuteen liittyvät tekijät [ $W_s$ ]
  - Ympäristöturvallisuuteen liittyvät tekijät [ $W_e$ ]
  - Laadun alenemaan liittyvät tekijät [ $W_q$ ]
  - Vikaantumisen korjaamisen / seurauskustannusten syntymiseen liittyvät tekijät [ $W_r$ ].

- Tyypillisesti painokertoimen valintaan vaikuttavat yrityksen strategiset painotukset. Painokertoimen valinnalla pystytään korostamaan yksittäisen kriittisyystekijän merkitystä kokonaiskriittisyysindeksin osalta.
- Myös muita tekijöitä on mahdollisuus ottaa tarkasteluun mukaan. Esimerkiksi elintarvike- ja lääketeollisuudessa laitteiden vikaantumisista mahdollisesti aiheutuvat hygieniariskit voivat nousta merkitykselliseksi.

Käytännön esimerkki kriittisyystarkastelussa käytettävästä laitetason kriittisyyden tekijöistä esitetään seuraavassa taulukossa (Taulukko 2.11).

Taulukko 2.11. Esimerkki laitetason kriittisyyden tekijöistä, tässä esimerkissä esitetyt numeroarvot ovat viitteellisiä.

	Kriittisyyden tekijä	Painoarvo [W]	Kerroin [K]	Kustannusluokka	Laadullinen kuvaus / Valintakriteeri
Tuotantovaikutukset	Tuotannon menetys	Esim. 100	0	Tarkasteluun mukaan kunkin valintakriteerin mukaiset katetuotto-menetykset (esim. 3-10 h tuotantokeskeytys vastaa 3,000-10.000 € arvosta menetettyä tuottoa)	Laitteen toimimattomuudella ei merkitystä tuotannolle
			1		Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston hetkeksi (esimerkiksi ≤3 h)
			2		Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston lyhyeksi ajaksi (esimerkiksi ≤10 h)
			3		Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston merkittäväksi ajaksi (esimerkiksi 10 - 24 h)
			4		Laitteen toimimattomuus pysäyttää osaprosessin tai osaston pitkäksi ajaksi (esimerkiksi >24 h)
	Laatukustannus	Esim. 30	0	Tarkasteluun mukaan kunkin valintakriteerin mukaiset laatukustannukset (esim. laatumenetykset vastaa 3-10 h tuotannon keskeytystä)	Laitteen toimimattomuus ei aiheuta lopputuotteen laatukustannuksia.
			1		Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä
			2		Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä
			3		Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä
			4		Laitteen toimimattomuus aiheuttaa lopputuotteen laatukustannuksia, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä
Turvallisuus- ja ympäristövaikutukset	Turvallisuusriskit	50	0		Ei vaaraa henkilöturvallisuudelle
			1		Vähäinen vaara henkilöturvallisuudelle
			2		Kohtalainen vaara henkilöturvallisuudelle
			3		Merkittävä vaara henkilöturvallisuudelle
			4		Vakava vaara henkilöturvallisuudelle
			5		Erittäin vakava vaara henkilöturvallisuudelle
	Ympäristöriskit	50	0		Ei ympäristöriskiä
			1		Vähäinen ympäristöriski
			2		Kohtalainen ympäristöriski
			3		Merkittävä ympäristöriski
			4		Vakava ympäristöriski
			5		Erittäin vakava ympäristöriski
Korjaus- tai seurauskustannukset	Korjaus- tai seurauskustannus	30	0	Ei kustannuksia	Korjauskustannuksilla tai seurauskustannuksilla ei ole merkitystä suhteessa muihin menetyksiin.
			1	0 - 2000 eur	Vähäiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat hetkellistä tuotannonmenetystä
			2	2000 - 10 000 eur	Keskinkertaiset korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat lyhytaikaista tuotannonmenetystä
			3	10 000 - 20 000 eur	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat merkittävää tuotannonmenetystä
			4	20 000 euroa	Korkeat korjauskustannukset tai seurauskustannukset, jotka vastaavat pitkäaikaista tuotannonmenetystä
Vikaantumistodennäköisyys	Vikaantumisväli [p]	1	0		Vika ei todennäköinen laitoksen elinjakson aikana (esim. Yli 10 vuoden vikaväli)
			1		Pitkä vikaantumisväli (esim. vikaväli 5 - 10 vuotta)
			2		Pitkähkö vikaantumisväli esimerkiksi (esim. vikaväli 2 vuotta - 5 vuotta)
			3		Lyhyehkö vikaantumisväli esimerkiksi (esim. vikaväli 1 vuosi - 2 vuotta)
			4		Lyhyt vikaantumisväli (esim. vikaväli 0,5 - 1 vuosi)
			5		Erittäin lyhyt vikaantumisväli (esim. vikaväli 0-6 kk)

Tehdään tarkasteltavista laitteista luettelo.

- Tehtävässä kannattaa hyödyntää kunnossapidon tietojärjestelmän laiteluetteloa, PI-kaavioita tai vastaavia aineistoja, joista saadaan kerättyä tarkasteltavat laitteistot kattavasti.
- PSK standardin liitteenä on saatavilla taulukkolaskentaohjelmasivu, jota voi käyttää tarkastelun pohjana ja kriittisyysindeksien laskennassa. Tähän tehtävään on kuitenkin helppo rakentaa itsekkin taulukkolaskentaohjelman sivu.

Laitteiden kriittisyysarvojen määrittäminen sekä kriittisyysindeksin (K) ja sen osaindeksien laskenta (Ks, Ke, Kp, Kq ja Kr) käyttäen hyväksi annettuja parametreja.

- Kun tarkasteltavat laitteet on lueteltu, määritetään niiden kriittisyysarvot kunkin osatekijän osalta.
- Määritettyjen painokertoimien, kriittisyysarvojen ja vikatodennäköisyysluokkien perusteella lasketaan laitteen kokonaiskriittisyys [K] ja kriittisyyden osaindeksien suuruus.
- Laitteen kriittisyysindeksi K lasketaan seuraavalla kaavalla

$$K = p \times \sum (W_x \times K_x),$$

- jossa p = vikaantumisväli,  $W_x$  = kunkin kriittisyystekijän painoarvo ja  $M_x$  = kunkin kriittisyystekijän osalta arvioitu kriittisyysluokka.

Kriittisyysluokittelu tekeminen.

- Kriittisyysluokittelulla ohjataan kehitystoimenpiteiden priorisointia. Tässä tehtävässä tyyppillisesti määritetään se kokonaiskriittisyysindeksin arvo, jonka ylittävät kohteet määritetään välittömiä toimenpiteitä vaativiksi kohteiksi. Tässä yhteydessä luokittelu voi olla esimerkiksi seuraava:
  1. Hyvin kriittinen
  2. Kohtalainen kriittisyys
  3. Vähäinen kriittisyys
  4. Ei kriittinen kohde
- Luokittelussa voidaan huomioida merkittäväksi myös yksittäisen osaindeksin arvo. Esimerkiksi komponentin vikaantuminen voi vaarantaa merkittävästi henkilö- tai ympäristöturvallisuutta, mutta kohteen kokonaiskriittisyyden vuoksi sitä ei lasketa hyvin kriittiseksi kohteeksi. Tällöin yksittäinen tekijä voi aktivoida kehitystoimenpiteiden käynnistämisen.
- Kriittisyyttä on mahdollista tarkastella myös ilman todennäköisyystekijää. Mikäli arvioinnissa annetaan laitteen vikaantumisen arvoksi 0, tarkoittaa se kriittisyysarvon laskennan osalta arvoa 0. On kuitenkin mahdollista, että todella harvoin vikaantuvien kohteiden osalta mahdolliset seurausvaikutukset ja –kustannukset ovat merkittäviä. Näidenkin kohteiden osalta on hyvä miettiä varautumiskeinoja vikatapauksen varalle.

Kuvassa 2.44 esitetään esimerkki kriittisyystarkastelussa käytettävästä taulukkolaskentaohjelman sivusta (huomaa, tämä esimerkki ei suoraan sisällä vikaantumisten kustannusvaikutusten seurantaa).

Prosessin kriittisyystarkastelu				Tulos (todennäk. huomioiden)		Raja-arvo		Tulos (ei todenn.)		Raja-arvo	
				A) Hyvin kriittinen	2	1 %	750	5	2 %	450	
				B) Kohtalainen kriittisyys	4	2 %	500	8	3 %	300	
				C) Vähäinen kriittisyys	4	2 %	250	3	1 %	150	
				D Ei-kriittinen kohde	237	96 %		231	94 %		
PVM, Työryhmän jäsenet				247			247				
				Painokerr.	100	30	50	50	30	1	
Toimintopaikka	Toimintopaikan nimitys	Luokka	Tulos	Pisteet (ilman todennäk.)	Tuotannon menetys	Laatu-kustannus	Turvallisuus-riski	Ympäristö-riski	Korjaus-kustannus	Vikaantumis-väli	
T-0001		A	1220	610	4	0	3	0	2	2	
T-0002		D	0	310	2	0	1	0	2	0	
T-0003		C	310	310	2	0	1	0	2	1	
T-0004		D	0	360	0	0	3	3	2	0	
T-0005		C	360	360	0	0	3	3	2	1	
T-0006		D	0	310	0	0	3	2	2	0	
T-0007		B	660	660	4	4	1	0	3	1	
T-0008		B	660	660	4	4	1	0	3	1	
T-0009		B	600	600	4	2	1	0	3	1	
T-0010		D	0	140	0	0	1	0	3	0	
T-0011		D	0	30	0	0	0	0	1	0	
T-0012		D	0	0	0	0	0	0	0	0	
T-0013		D	0	30	0	0	0	0	1	0	

Kuva 2.44. Esimerkki kriittisyystarkastelussa käytettävästä arviointilomakkeesta

## Keskeiset opit

- Kriittisyystarkastelu on suhteellisen nopea lähestymistapa, jolla voidaan muodostaa käsitys kunnossapidettävän kohteen kriittisimmistä toiminnoista/laitteista/komponenteista.
- Useimmiten kriittisyystarkastelu perustuu asiantuntija-arvioihin, kuitenkin jos käytettävissä on luotettavaa tapahtumadataa kohteen vikatapahtumista, voidaan tätä hyödyntää arvion tukena.
- Tarkastelu voidaan toteuttaa järjestelmä-, osajärjestelmä tai laitetasoilla käytettävissä olevien henkilöresurssien tuomien rajoitteiden mukaisesti. Mikäli tarkastelu aloitetaan tietyistä osajärjestelmästä, ajatellen laajentaa tarkastelua myöhemmin, on hyvä varmistaa arvointikriteerien vertailukelpoisuus.
- Tarkastelun tuloksena saatavia laitteiden kokonaiskriittisyysarvoja on hyvä tarkastella useammasta näkökulmasta. Näitä ovat eritoten yksittäisen osatekijän kohonnut kriittisyys, sekä kriittisyys ilman vikaantumisen todennäköisyyskerrointa.
- Arvokasta tietoa tarkastelun yhteydessä pystyy tuottamaan myös huomioimalla mahdollisia kustannuksia aiheuttavien tekijöiden (tuotantomenetys, laatumenetys, korjaus- ja seurausvaikutukset) kustannusluokkia tarkastelussa mukana. Tämä tukee kehitystoimenpiteiden laajuuden määrittämistä.

## 2.6

### NÄKÖKULMIA STRATEGISEEN OMAISUUDEN HALLINTAAN

*Jyri Hanski*

#### Johdanto

Strategia kuvaa organisaation pitkän aikavälin tavoitteita. Se määrittää muun muassa organisaation toiminnan ja kilpailuetujen laajuuden, sen strategisen sopivuuden toimintaympäristöönsä sekä sen resurssit, osaamiset ja arvot. Strateginen johtaminen ja strategiset tavoitteet antavat suuntaviivoja strategiselle omaisuuden hallinnalle (ISO 55000, 2014). Strategiset päätökset ovat usein monimutkaisia ja epävarmoja. Päätöksentekoon vaikuttavien tekijöiden eli päätösympäristön ymmärtäminen tukee strategisten tavoitteiden asettamista, päätöksenteon kriteerien valintaa ja vaihtoehtoisten strategioiden arviointia. Strategisen omaisuuden hallinnan päätökset kohdistuvat usein monimutkaiseen järjestelmiin, jotka koostuvat suuresta joukosta vuorovaikutteisia osia, joiden historia vaikuttaa nykyhetken toimintaan ja joihin vaikuttavat jatkuvasti muuttuvat ympäristötekijät (Snowden & Boone, 2007). Monimutkaiset järjestelmät aiheuttavat epävarmuutta päätöksentekoon. Epävarmuus tarkoittaa tapahtumaan, sen seurauksiin tai todennäköisyyteen liittyvää tiedon puutetta (ISO, 2009). Sen ymmärtäminen on kriittistä, koska strategisen omaisuuden hallinnan päätökset ovat usein epävarmoja ja niillä on merkittäviä pitkän aikavälin vaikutuksia eri toimijoille ja sidosryhmille. Monimutkaisuus ja epävarmuus johtuvat monista tekijöistä: pitkät fyysisen omaisuuden elinjaksot, päätösten perustuminen epätäydelliseen tietoon, sidosryhmien eriaävät tarpeet ja vaatimukset, järjestelmien hierarkkinen rakenne, monimutkaiset teknologiat, tietojärjestelmät ja organisaatorakenteet sekä valtava määrä erityyppisiä hallittavia omaisuuseriä. Lisäksi strategiseen omaisuuden hallintaan vaikuttavat monet nousevat trendit ja näkökulmat kuten lainsäädäntö, kestävä kehitys, kiertotalous, ilmastonmuutos, teknologiset edistysaskeleet, ekosysteeminäkökulma, liiketoimintamallit ja riskienhallinta.

SWOT-analyysi on yleinen tapa hahmottaa kestävästä kilpailuedun tavoittelua. Analyysissä käydään läpi sisäisten vahvuuksien hyödyntäminen ja heikkouksien välttäminen sekä toimintaympäristön mahdollisuuksien hyödyntäminen ja mahdollisten uhkien neutralisointi. SWOT-analyysin sisäinen puoli pohjautuu resurssipohjaiseen näkemykseen kilpailukykyä, jossa yritysten sisäiset eroavaisuudet selittävät niiden menestyksen tai menestymättömyyden. Ulkoinen puoli taas pohjautuu toimintaympäristöpohjaiseen näkemykseen kilpailuedusta, joka korostaa toimintaympäristön analyysia ja niiden toimintaympäristön piirteiden tunnistamista, jotka johtavat hyvään suorituskykyyn. Kuvassa 2.45 esitetään strategiseen omaisuuden hallintaan vaikuttavia näkökulmia jaettuna organisaation ulkoiseen ja sisäiseen näkökulmaan.



Kuva 2.45. Strategisen omaisuuden hallinnan näkökulmia

Nämä näkökulmat muuttavat omaisuuden hallinnan strategioita ja toimintatapoja nyt ja tulevaisuudessa. Ne lisäävät monimutkaisuutta ja epävarmuutta strategisen omaisuuden hallinnan päätöksentekoon ja tarvetta uusille työkaluille epävarmuuden hallintaan. Toisaalta uudet näkökulmat luovat myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia, esimerkiksi kestävä kehityksen edistämiseen ja ilmastonmuutokseen sopeutumiseen. Seuraavaksi esitellään tarkemmin eri näkökulmat ja niiden vaikutus strategiseen omaisuuden hallintaan.

## Organisaation sisäinen näkökulma

Sisäinen näkökulma koostuu yrityksen kulttuurista, arvoista, missiosta ja visiosta (ISO 55000, 2014). Tätä näkökulmaa täydennetään keskeisillä strategiseen omaisuuden hallintaan vaikuttavilla näkökulmilla: riskien hallinta, liiketoimintamallit, tiedonhallinta, fleet-ratkaisut, robustisuus sekä joustavuus ja adaptiivinen johtaminen.

### *Riskien hallinta*

Riskien hallinta on keskeinen osa strategista omaisuuden hallintaa ja se sisältää toiminnot, joilla riskejä ohjataan ja hallitaan organisaatioissa. Riski määritellään epävarmuuden vaikutuksena tavoitteisiin, jossa vaikutus voi olla joko myönteinen tai kielteinen (ISO 31000, 2018). Riskien hallinta on jatkuva prosessi, jonka tavoitteina on läpinäkyvyys organisaation sisä- ja ulkopuolella, riskitietoisuuden lisääminen, tulevaisuuden tappioiden todennäköisyyden pienentäminen, varautuminen ei-toivottuihin tilanteisiin ja organisaatioiden tavoitteiden saavuttaminen. Riskien hallinnan rooli korostuu strategisissa päätöksissä ja monimutkaisten järjestelmien kuten infrastruktuurien hallinnassa. Riskien hallinta osana strategista omaisuuden hallintaa edellyttää kaikkien keskeisten riskien tunnistamista, niiden vaikutusten arvioimista fyysisen omaisuuden arvolle ja riskien hallintatoimien optimointia.

### *Liiketoimintamallit*

Liiketoimintamalli kuvaa logiikkaa, jolla yritys luo ja kotiuttaa arvoa. Liiketoimintamallin tulisi onnistua kolmella osa-alueella: arvon luonnissa, arvolutauksessa ja arvon kotiuttamisessa (Clauss, 2017). Arvon luonti koostuu liiketoimintamallin vaatimista kyvykkyyksistä, teknologiasta, kumppanuuksista ja prosesseista. Arvolutaus kuvaa palvelun sisällön mukaan lukien tarjoama, asiakkaat, markkinat, kanavat ja asiakassuhteet. Tuottomalli ja kustannusrakenne ovat keskeisessä osassa arvon kotiuttamisessa. Strategisessa omaisuuden hallinnassa liiketoimintamalli on perinteisesti huomioitu etenkin ulkoistuspäätöksissä. Esimerkkejä kunnossapitopalveluiden liiketoiminta-

malleista ovat esimerkiksi lyhytaikaiset hintaa painottavat, saatavuusperusteiset sekä pitkän aikavälin yhteistyötä painottavat kumppanuussopimukset. Uudet digitaaliset ratkaisut mahdollistavat uudenlaisia liiketoimintamalleja, kuten palvelualustan ja -teknologioiden tarjoamisen, analytiikkaan perustuvat palvelut vianetsintään, ennakoivaan kunnossapitoon ja ennakoivaan suorituskyvyn hallintaan sekä fyysisen omaisuuden suorituskyvyn optimoinnin perustuen dataan, kehittyneen analytiikkaan ja domain-asiantuntijuuteen (Ahonen ym. 2020).

### ***Tiedonhallinta***

Tiedonhallinta luo pohjan onnistuneella strategisella omaisuuden hallinnalle. Tässä yhteydessä tiedonhallinnalla viitataan muun muassa tiedonhallinnan prosesseihin, datan hallintaan ja datasta saatavaan arvoon, datan käsittelyyn ja analysointiin, dokumentaation ja raportointiin, datan integrointiin, fyysiseen omaisuuteen liittyvän tietämyksen hallintaan ja tietojärjestelmiin, joihin tieto kerätään ja varastoidaan. Tiedonhallinta koostuu tyypillisesti seuraavista aktiviteeteista: datan keruu ja esikäsittely, deskriptiivinen data-analyysi, datan mallinnus ja tiedon hyödyntäminen päätöksenteon tukena tai muilla tavoin. Fyysiseen omaisuuteen liittyvä data on tyypillisesti valtava, monitahoinen ja hajanainen kokoelma dataa erilaisissa tietojärjestelmissä ja dokumenteissa. Tähän liittyen, myös strategista omaisuuden hallintaa tukemaan, on kehitetty big data -ratkaisuja, jotka hyödyntävät datamääriä, joita yleisesti käytössä olevat ohjelmistoratkaisut eivät pysty käsittelemään.

### ***Fleet-ratkaisut***

Fleet-ratkaisuilla ja fleetin hallinnalla tarkoitetaan sellaisten järjestelmien, osajärjestelmien ja komponenttien hallintaa, joilla on samankaltaisia ominaisuuksia. Esimerkkinä fleet-ratkaisusta voidaan pitää yksittäisten laitteiden ja koneiden suorituskyvyn arviointia suhteessa koko samankaltaisten koneiden fleetin nykyiseen tai entiseen suorituskyykyyn (Lee, Bagheri & Kao, 2015). Uudet digitaaliset ratkaisut mahdollistavat tiedon keruun ja analysoinnin riippumatta laitteen fyysisestä sijainnista. Tämä mahdollistaa esimerkiksi globaalisti toimivien valmistavan teollisuuden yritysten koneidensa suorituskyvyn vertailun eri toimipaikoissa ja olosuhteissa.

### ***Robustisuus***

Fyysisen omaisuuden pitkät elinjakso, toiminta laajoissa verkostoissa ja useiden sidosryhmien vaatimukset ja muutokset toimintaympäristössä tuovat epävarmuutta strategisen omaisuuden hallinnan päätöksentekoon. Monimutkaisissa ja epävarmoissa päätöstilanteissa päästään usein yhteisymmärrykseen tarkasteltavasta aikahorisontista, skenaarioiden lukumäärästä ja sisällöstä sekä millä muuttujilla ratkaisuvaihtoehtojen suorituskyykyä kuvataan. Suurimmat haasteet liittyvät usein valittujen muuttujien suoritustason määrittämiseen eri skenaarioissa ja valittujen ratkaisuvaihtoehtojen arvoon. Tästä syystä omaisuuden hallinnan päätöksissä tulisi huomioida valittujen ratkaisuvaihtoehtojen robustisuus. Robusti ratkaisu tai strategia suoriutuu, verrattuna vaihtoehtoihin, hyvin mahdollisimman monessa uskottavassa tulevaisuuden skenaariossa (Lempert ym., 2006). Robustit ratkaisut ja strategiat ovat kannattavia etenkin epävarmoissa pitkän aikavälin investoinneissa.

### ***Joustavuus ja adaptiivinen johtaminen***

Adaptiivisen johtamisen tavoitteena on lisätä järjestelmien resilienssiä joustavuuden, jatkuvan oppimisen ja kokeilujen avulla (Fritsch, 2017). Sen johtavana ajatuksena on se, että tulevaisuus kehittyy osittain odottamattomilla tavoilla, joihin ei voida täysin varautua. Adaptiivinen johtaminen on siis täydentävä lähestymistapa robustisuudelle. Adaptiiviset strategiat pohjautuvat nykyiseen tietämykseen ja ennakoituihin olosuhteisiin, mutta ovat myös joustavia muutoksille tulevaisuudessa. Adaptiivisten strategioiden ohjenuorana on siis se, että strategiat eivät ole käytössä vuosikymmeniä, vaan lyhyen aikaa ja niitä muokataan tarpeen mukaan. Strategisessa omaisuuden hallinnassa adaptiivista johtamista tulisi huomioida jo suunnitteluvaiheessa, jotta fyysisen omaisuus olisi joustavasti muutettavissa muuttuvien vaatimusten mukaan.

## Organisaation ulkoiset näkökulmat

Organisaation ulkoinen näkökulma koostuu päätrendeistä ja näkökulmista, jotka vaikuttavat yritysten toimintaympäristöön ja tätä kautta strategiseen omaisuuden hallintaan.

### *Lainsäädäntö ja sidosryhmät*

Lainsäädäntö asettaa vaatimuksia strategiselle omaisuuden hallinnalle ja aiheuttaa epävarmuutta strategisiin päätöksiin. Esimerkiksi teknologisilla, institutionaalisilla ja taloudellisilla muutoksilla kuten säännöstelyn purkamisella, yksityistämällä ja materiaalien ja raaka-aineiden hinnan muutoksilla voi olla merkittäviä vaikutuksia strategisen omaisuuden hallinnan päätöksentekoon. Strategisen omaisuuden hallinnan päätökset sisältävät useita sidosryhmiä ja monimutkaisia verkostoja, jotka asettavat omat, joskus ristiriitaiset, vaatimuksensa päätöksenteolle.

### *Ekosysteemit ja alustaratkaisut*

Yritykset toimivat monimutkaisissa ja dynaamisissa verkostoissa, joissa useat yritykset tuottavat yhteistyössä tuotteita ja palveluita eli arvoa asiakkailleen. Tällaisia verkostoja kutsutaan ekosysteemeiksi. Fyysiseen omaisuuteen liittyvät tuotteet ja palvelut perustuvat useiden toimijoiden dataan, osaamiseen ja muihin resursseihin. Alustaratkaisulla tähdätään näiden resurssien yhteiskäytön tehostamiseen ja niihin siirtyminen voi muokata toimialarakenteita ja tuoda aivan uusia toimijoita, kuten alusta- ja tietoratkaisujen tarjoajat, teollisille toimialoille.

### *Markkina- ja asiakasnäkökulma*

Markkinoiden rakenne, ominaispiirteet ja kysyntä vaikuttavat voimakkaasti strategisen omaisuuden hallinnan päätöksiin. Markkinoiden ominaispiirteitä ovat esimerkiksi niiden kehittyneisyys, markkinoille tulon esteet, epävarmuus ja epävakaisuus, erottautumiskeinot ja lainsäädäntö. Uudet digitaaliset teknologiat sumentavat ja jopa poistavat raja-aitoja markkinoiden välillä ja tekevät näin markkinoiden rajaamisen haastavaksi. Asiakkaan näkökulma ja päätöksentekoympäristö ovat keskeisessä osassa strategista omaisuuden hallintaa. Organisaation on tunnettava asiakkaan kohtamat päätöstilanteet ja missä tilanteissa asiakkaat hyötyvät tarjotuista tuotteista ja palveluista.

### *Mahdollistavat teknologiat*

Teknologinen kehitys ja uudet teknologiset ratkaisut vaikuttavat merkittävästi strategisen omaisuuden hallinnan tehokkuuteen. Strategiseen omaisuuden hallintaan vaikuttavat edistysaskeleet monissa eri teknologioissa kuten kyber-fyysisissä järjestelmissä (*Cyber-Physical Systems, CPS*), virtuaalitekknologioissa, tekoälyssä (*Artificial Intelligence, AI*), pilvilaskennassa (*cloud computing*), lisääntyneessä instrumentoinnissa, robotisaatioissa, nanomateriaaleissa, bioteknologiassa, energiateknologiassa, digitaalisissa alustoissa ja lohkoketjuteknologiassa. Digitaalisten teknologioiden kehittymisen nähdään olevan yksi merkittävimmistä omaisuuden hallinnan strategiaan vaikuttavista muutosvoimista.

### *Kestävä kehitys*

Kestävä kehitys tavoittelee vastaamista yhteiskunnan nykyisiin tarpeisiin ympäristö-, sosiaalinen ja taloudellinen näkökulma huomioiden ilman, että tulevien sukupolvien edellytykset elämiseen vaarantuu. Yrityksiltä edellytetään enenevässä määrin kestävyiden periaatteiden noudattamista ja se onkin monien yritysten strategiassa kiinteästi mukana. Kestävyyden huomioimiselle nähdään monia hyötyjä: maksujen ja sakkojen välttäminen, yhteiskuntasuhteiden tärkeys, suuremmat tuotot ja pienemmät kustannukset parantuneen maineen ja muiden kustannusten vähenemisestä sekä kilpailukykyyn parantuminen. Strategisella omaisuuden hallinnalla on merkittävä rooli kestävyiden edistämässä, koska tuotantolaitteistot, infrastruktuurit ja niiden kautta tuotetut tuotteet ja palvelut muodostavat suuren osan globaalista resurssinkulutuksesta ja päästöistä sekä valtava joukko ihmisiä on riippuvainen niiden vaatimasta työpanoksesta. Kestävällä kehityksen periaatteiden noudattaminen asettaa uusia pitkän aikavälin taloudellisia, ympäristöön liittyviä ja sosiaalisia vaatimuksia strategiseen omaisuuden hallintaan.



## Kiertotalous

Kiertotalous on nouseva trendi, jonka tavoitteena on kestävä kehityksen edistäminen minimoimalla jäte, energian ja raaka-aineiden käyttö tarkastelluissa järjestelmissä. Nykyisellään vain 9% materiaaleista kierrätetään takaisin tuotantojärjestelmiin, joten kiertotalouden ratkaisulla nähdään valtavasti potentiaalia (Circularity Gap, 2019). Kiertotaloudella nähdään positiivisia vaikutuksia niin ympäristön, sosiaalisista kuin myös taloudellisista näkökulmista. Siirtymisen kiertotalouden toimintamalleihin arvioidaan vähentävän Euroopan kasvihuonepäästöjä jopa 70%, kasvattaa työvoimaa noin 4%:lla (Wijkman & Skånberg, 2015). Strategisella omaisuuden hallinnalla ja kiertotaloudella on moni samankaltaisuuksia – molemmat tähtäävät resurssien käytön tai omaisuuden arvon optimointiin elinkaaren ajalla. Kiertotaloudella on kuitenkin voimakkaampi pyrkimys materiaalien ja laitteiden uudelleenkäyttöön ja uusiutuvien resurssien käyttöön, kun taas strateginen omaisuuden hallinta keskittyy nykyisellään taloudelliseen kestävyyteen ja riskien hallintaan.

## Ilmastomuutos

Hillitseminen, eli kasvihuonepäästöjen vähentäminen ja nielujen kasvattaminen, on keskeinen tapa ilmastomuutoksen vastaiseen taisteluun. Resurssien tehokas käyttö on yksi keskeisimmistä tavoista ilmastomuutoksen hillitsemiseen, sillä materiaalien ja tuotteiden valmistus ja käyttö muodostavat suuren osan ihmisen aiheuttamista kasvihuonepäästöistä. Strategisella omaisuuden hallinnalla on täten suuri merkitys ilmastomuutoksen hillitsemisessä. Vaikka hillitseminen on ollut keskeinen osa eurooppalaista ja kansainvälistä ilmastopolitiikkaa, myös ilmastomuutoksen vaikutuksiin sopeutumisen tärkeys on tunnustettu. Tämä johtuu siitä, että vaikka hillitsemistavoitteet saavutettaisiinkin, ilmastomuutoksen vaikutuksia tullaan todennäköisesti kohtaamaan (Swart ym., 2009). Hillitsemisen ja sopeutumisen tavoitteilla tulisi olla suuri vaikutus strategisen tason omaisuuden hallintaan. Omaisuuden hallinnan tulisi sopeutua ja vastata muuttuviin olosuhteisiin ja mahdollisiin lisääntyviin sään ääri-ilmiöihin. Vaikutukset näkyvät voimakkaasti esimerkiksi energiasektorilla, mutta ainakin välillisesti myös muillakin sektoreilla.

## Palvelullistuminen

Yritykset ovat viime vuosikymmeninä lisänneet palveluita aikaisemmin tuotokeskeiseen tarjoamaansa. Tätä kehitystä kutsutaan palvelullistumiseksi (*servitization*). Palvelullistuminen ja lisääntynyt datan keruu ja sen analysointi tuotteista ja palveluista mahdollistaa palvelutarjoaman laajentamisen elinjakson eri vaiheisiin. Strategisen omaisuuden hallinnan yksi päätavoitteista on tietyn palvelutason takaaminen nykyisille ja tuleville asiakkaille, jota palvelullistumiskehitys voi tukea. Palvelullistuminen nähdään myös mahdollistavana tekijänä monille kestävä kehityksen ja kiertotalouden liiketoimintamalleille.

## Keskeiset opit

- Strategiseen omaisuuden hallintaan vaikuttaa monia organisaation sisäisiä ja ulkoisia näkökulmia
- Näkökulmat vaikuttavat merkittävästi omaisuuden hallinnan strategioihin ja toimintatavoihin nyt ja tulevaisuudessa. Ne lisäävät monimutkaisuutta ja epävarmuutta strategisen omaisuuden hallinnan päätöksentekoon ja tarvetta uusille työkaluille epävarmuuden hallintaan
- Keskeisiä nousevia näkökulmia ovat muun muassa kestävä kehitys ja kiertotalous, uudet digitaaliset teknologiat ja ilmastomuutokseen sopeutuminen

## LÄHTEET

- Ahonen, T., Hanski, J. & Uusitalo, T. (2020) Approach to Digital Asset Management Service Development. In: Liyanage J., Amadi-Echendu J. & Mathew J. (eds.) Engineering Assets and Public Infrastructures in the Age of Digitalization. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. Business Planning, Business Planning, Kogan Page Ltd., London. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-48021-9_14)
- Circularity Gap Report (2020) Circularity Gap Reporting Initiative. Available: <https://www.circularity-gap.world/2020>
- Cohen, L. (1997) Quality Function Deployment. How to make QFD work for you. Addison-Wesley Publishing Company. USA 1997.
- EFNMS-EAMC (2011) How organizations manage their physical assets in practice, EFNMS Asset Management Survey, EFNMS.
- EN 16646 (2014) Maintenance — Maintenance within physical asset management. CEN TC 319.
- FprEN 17485 (2020) Maintenance — Maintenance within physical asset management. — Framework for improving the value of the physical assets through their whole life cycle. CEN TC 319.
- Fritsch, O. (2017) Integrated and adaptive water resources management: exploring public participation in the UK. Regional Environmental Change. doi: 10.1007/s10113-016-0973-8.
- Hastings, N. A. J. (2015) Physical Asset Management, Physical Asset Management. doi: 10.1007/978-3-319-14777-2.
- Heikkilä, A., Komonen, K., Räikkönen, M. & Kunttu, S. (2012) Empirical experiences of investment portfolio management in a capital-intensive business environment: a dimension of strategic asset management. International Journal of Strategic Engineering Asset Management, Vol. 1, No. 2, pp. 117–134.
- ISO 15663-2 (2001) Petroleum and natural gas industries — Life-cycle costing — Part 2: Guidance on application of methodology and calculation methods
- ISO (2009) ISO Guide 73:2009 Risk management - Vocabulary.
- ISO 31000 (2018) ISO 31000 Risk management. Guidelines.
- ISO 55000 (2014) Omaisuuuden hallinta – Omaisuuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit. International Organization for Standardization. doi: 10.1007/978-3-7908-2720-0\_12.
- ISO 55001 (2014) Omaisuuuden hallinta. Hallintajärjestelmät. Vaatimukset. International Organization for Standardization.
- ISO 55002 (2018) Omaisuuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001:2014 soveltamisesta. International Organization for Standardization.
- Komonen, K. (2009) Key performance indicators. In Process and Maintenance Management. ed. by Leiviskä. K., Paper Engineers Association. Gummerus Helsinki.
- Komonen, K. (2009) Tuotanto-omaisuuden hallinta. Kirjassa Kuntoon perustuva kunnossapito. Toimittanut Mikkonen, H., KP-Media Oy. Helsinki

- Komonen, K. (2016) METSTAn koulutusmateriaali. Kunnossapito omaisuudenhallinnan osana. SFSEdu. Verkkojulkaisu
- Komonen, K. (2019) Tuotanto-omaisuuden hallinnan kenttä. Kirjassa Kunnossapidon vuosikirja 2019. Promaint ry. Helsinki
- Komonen, K., Kortelainen, H. & Räikkönen, M. (2006) An Asset Management Framework to Improve Longer Term Returns on Investments in the Capital Intensive Industries. In *Engineering Asset Management*, pp. 418–432. doi: 10.1007/978-1-84628-814-2\_46.
- Komonen, K., Kortelainen, H. & Räikkönen, M. (2012) Corporate asset management for industrial companies: An integrated business-driven approach. In *Asset Management: The State of the Art in Europe from a Life Cycle Perspective*, pp. 47–63. doi: 10.1007/978-94-007-2724-3\_4
- Komonen, K., Kunttu, S. & Ahonen, T. (2011) In Search of the Best Practices in Maintenance. The 1st Maintworld Congress. Conference Proceedings. Helsinki, 2011.
- Kortelainen, H. & Komonen, K. (2016) Teollisen tuotanto-omaisuuden hallinta muutoksessa – standardeista apua toimitusprosessien ja tiedonhallinnan kehittämiseen. Kirjassa *Teollinen internet uudistaa palveluliiketoimintaa ja kunnossapitoa*. toim. T. Kärri ja M. Martinsuo 2016.
- Kortelainen, H. Räikkönen, M. & Komonen, K. (2015) Corporate asset management - a semi-quantitative business-driven approach to support the evaluation of improvement options. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*. Inderscience Publishers. Vol. 2. No: 2, pp. 208-222.
- Lempert, R. J. ym. (2006) A General, Analytic Method for Generating Robust Strategies and Narrative Scenarios. *Management Science*. doi: 10.1287/mnsc.1050.0472
- PSK 6800 (2008) Standardi PSK 6800, Laitteiden kriittisyysluokitteluteollisuudessa. Helsinki: PSK Standardisointiyhdistys ry.
- PSK 7102 (2008) Tehdashierarkia. Helsinki PSK Standardisointi ry.
- Saaty, T.L. (1980) *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Snowden, D. J. & Boone, M. E. (2007) A leader's framework for decision making. *Harvard Business Review*. November. doi: 10.1109/MCDM.2007.369449
- Stacey, R.D. (1990) *Dynamic Strategic Management for the 1990s – Balancing Opportunism and*
- Swart, R. ym. (2009) Europe adapts to climate change: Comparing national adaptation strategies. Partnership for European Research. PEER Report 1.
- Wijkman, A. & Skånberg, K. (2015) *The Circular Economy and Benefits for Society: Jobs and Climate Clear Winners in an Economy Based on Renewable Energy and Resource Efficiency*, The Club of Rome.
- Williamson, O. (1985) *The Economic Institutions of Capitalism*, New York Free Press.

# OSA 3

## TIEDON KERÄÄMINEN, ANALYSOINTI JA HYÖDYNTÄMINEN

# 3.1

## ELINJAKSON HALLINTAAN LIITTYVÄN TIEDON LÄHTEILLÄ

Helena Kortelainen ja Toni Ahonen

### Johdanto

Elinjakson tai elinkaaren hallinta on hyvin tietointensiivistä toimintaa, joka edellyttää monimuotoisen tiedon keräämistä, tiedon käsittelyä ja tiedon jalostamista (mm. IEC 60300-3-2, ISO 55002, PSK 9101, SFS-EN 15341). Datan monimuotoisuus on tietomassan hyödyntämisen keskeinen haaste: mittausjärjestelmien tuottaman tiedon lisäksi käytettävissä on muun muassa kunnossapidon järjestelmiin tai päiväkirjoihin tallennettua tapahtumatietoa, koneiden ja laitteiden Master-dataa, työohjeita, kuvia ja videoita. Toisen haasteen muodostavat tietojärjestelmien ja toimintojen väliset rajapinnat, jotka vaikeuttavat tiedon siirtämistä järjestelmästä toiseen. Monimuotoisia kysymyksiä liittyy myös tiedon hyödyntäminen eri yritysten välillä.

Digitalisaation myötä painopiste siirtyy datan keräämisestä tiedon hyödyntämiseen. Tyypillinen kysymys ei ole enää ”Mitä tietoa tarvitsemme?” vaan pikemminkin ”Miten näitä tietoja voisi hyödyntää?”. Datan jalostaminen ja rikastaminen auttaa ymmärtämään laitteiden vikaantumista tai tuotannon pullonkauloja, mutta tulevien häiriöiden tai tuotannon kapeikkojen ennustaminen edellyttää syvemmän tietämyksen ja mallien kehittämistä.

Tässä luvussa käsitellään tiedon eri muotoja, tiedon jalostamista ja rikastamista päätöksentekijän näkökulmasta katsottuna sopivaan muotoon. Lisäksi tarkastellaan tiedon keräämiseen käytettyjä menetelmiä sekä erilaisia elinkaaren hallinnan näkökulmasta katsottuna relevantteja tietojärjestelmiä ja niiden hyödyntämistä päätöksenteon tukena.

### Data, tieto, informaatio, tietämys ja viisaus

Sana ”data” tarkoittaa arkikielessä yleisesti ottaen tietoa. Ackoff (1999) määrittelee datan ja informaation seuraavasti:

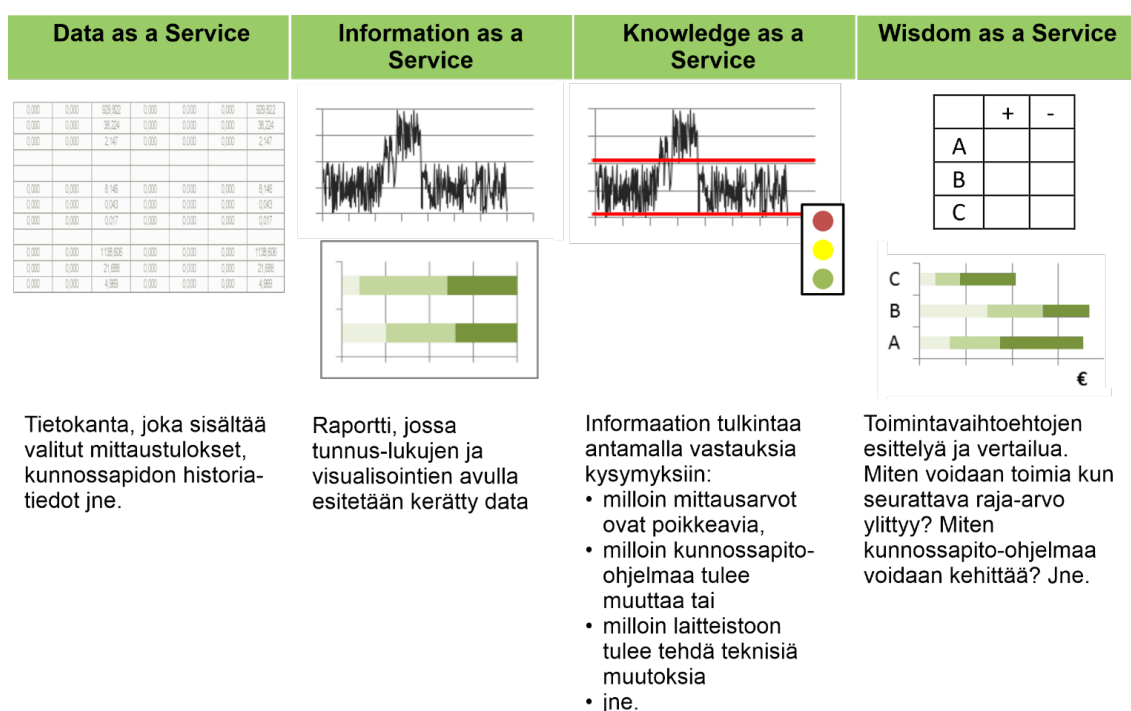
*“Data are symbols that represent the properties of objects and events. Information consists of processed data, the processing directed at increasing its usefulness. Data are the products of observation. Data elements are of no use until they are in a useable (i.e. relevant) form.”*

Dataa - tietoa - siis saadaan havaintojen kautta. Tieto esiintyy hyvin erilaisissa muodoissa kuten numeroita, piirroksia, kuvia, tekstiä tai ääntä. Tietoa voidaan jalostaa ja rikastaa esimerkiksi hyödyntämällä useista eri lähteistä saatavaa tietoa tai osaamista.

Eräs paljon käytetty typologia tiedon monimuotoisuuden jäsentämiseen on DIKW (*Data - Information - Knowledge - Wisdom*) - malli, jonka tasot kuvaavat tiedon käsittelyastetta. Ackoff julkaisi DIKW-hierarkian vuonna 1989, ja sen jälkeen mallia on täydennetty ja siitä on esitetty lukuisia muunnelmia (mm. Rowley, 2006). DIKW-mallissa data on tarkasteltavasta kohteesta kerättyä ja tallennettua numeerista ja ei-numeerista aineistoa. Data kerätään usein tietokantoihin. Informaatiota muodostuu, kun dataa jalostetaan ihmisaivoille ymmärrettävämpään muotoon, esimerkiksi trendikuvaajiksi, keskiarvoiksi tai muiden mielekkäiden tunnuslukujen tai kuvaajien suuntaan. Datan ja informaation ero on siis toiminnallinen, ei niinkään rakenteellinen. Informaatio näyttäytyy

kuvauksissa ja vastauksissa kysymyksiin, jotka alkavat sanoilla kuka, mitä, milloin ja missä. Informaatiojärjestelmät tuottavat, tallentavat, palauttavat (*retrieve*) sekä prosessoivat dataa. Tietämys (*Knowledge*) on kykyä tulkita informaatiota ja tunnistaa mahdollisesti tarvittavat toimenpiteet. Tietämystä voidaan saada ihmisten välisen kanssakäymisen kautta hiljaisen tiedon siirtyessä, ohjeiden tai kokemuksen kautta. DIKW-hierarkia sisältää myös käsitteen ”viisaus”. Viisaus (*Wisdom*) on kykyä yhdistää tietoa eri lähteistä ja tunnistaa vaihtoehtoiset toimintatavat hyödyntäen aiemmista kokemuksista saatua tietämystä sekä vertailla ja arvioida tarjolla olevien vaihtoehtojen hyviä ja huonoja puolia.

DIKW hierarkian tasoja on konkretisoitu kunnanvalvontaan liittyvän operatiivisen tason päätöstilanteen avulla alla olevassa kuvassa (Kuva 3.1). Päätöksenteon näkökulmasta tietokantoihin kerätty raakadata ei sellaisenaan ole vielä kovin käyttökelpoista. Tiedon jalostaminen informaatioksi tunnuslukujen ja kuvaajien muotoon auttaa ymmärtämään tilannetta huomattavasti paremmin. Kun tähän informaatioon lisätään kokemusperäistä tai mallintaen saatua tietoa, voidaan arvioida milloin kunnanvalvontamittausten arvot osoittavat komponentin olevan ikääntynyt ja vaativan toimenpiteitä tai milloin prosessisuureet ilmoittavat poikkeavasta tilanteesta. Tätä tietämystä muihin tietolähteisiin peilaten voidaan edelleen arvioida, olisiko komponentti vaihdettava kokonaan toiseen tyyppiin, muutettava kunnossapito-ohjelmaa vai edellyttäväkö toistuvan ongelman ratkaisu uudelleensuunnittelua.



Kuva 3.1. Esimerkkejä datan eri muodoista ja jalostamisesta (Kunttu ym., 2017)

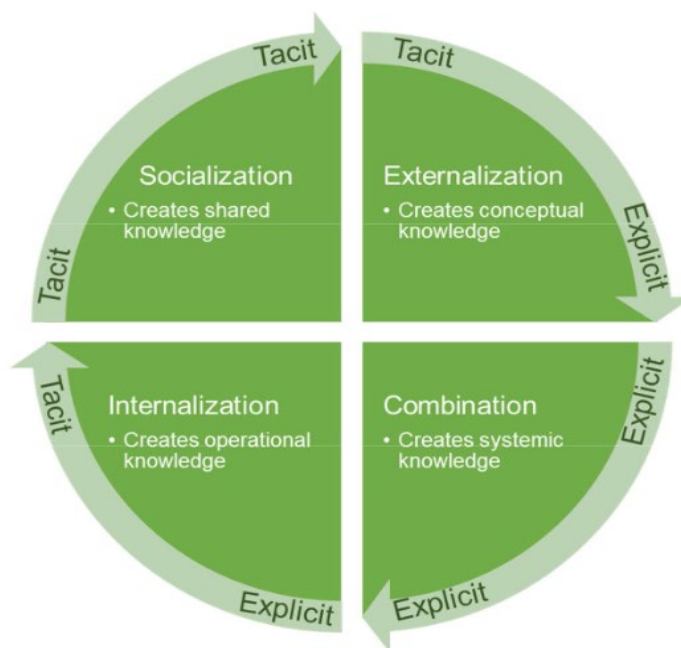
## Hiljainen tieto ja tietämys

Tietokantoihin ja -järjestelmiin tallennetun tiedon lisäksi merkittävä osa elinjakson hallinnan kannalta tärkeää tietämystä on ns. ”hiljainen tietämys” (*tacit knowledge*). Hiljaisella tiedolla tarkoitetaan ei-verbaalista, ihmisille kokemuksen kautta syntyvää näkemystä, ”näppituntumaa” ja osaamista.

Hiljaisen tiedon käsitteen luojana mainitaan usein amerikkalainen Michael Polanyi (1966). Hän kiteytti hiljaisen tietämyksen olemuksen sanomalla, että ”*Tiedämme enemmän kuin pystymme kertomaan*”. Ihmiset eivät osaa ilmaista kaikkea sitä tietoa, joka näkyy heidän toiminnassaan erilaisina tapoina, rutiineina, käytäntöinä ja tuntemuksina. Koska hiljainen tieto on ymmärretty tärkeäksi, sen siirtämistä, säilyttämistä ja siirtämistä eksplisiittiseen eli näkyvään muotoon on tutkittu paljon

(esim. Nonaka & Takeuchi 1995). Datan jalostaminen ja rikastaminen auttaa ymmärtämään vaikkapa koneiden häiriöitä tai tuotannon pullonkauloja, mutta tulevien häiriöiden tai tuotannon kaikkien ennustaminen edellyttää syvemmän tietämyksen ja mallien kehittämistä. Hiljaisen tiedon merkitys on suuri nimenomaan tämän syvemmän ymmärryksen luomisessa.

Eksplisiittinen tieto ja hiljainen tietämys täydentävät toisiaan ja auttavat luomaan uutta tietoa. Nonaka & Takeuchi (1995) kuvasivat uuden tiedon syntymistä ja jakamista organisaatiossa tunnetulla SECI-mallillaan (Kuva 3.2). Hiljaisen tiedon transformaatio eksplisiittiseksi tiedoksi alkaa yksilöiden välisessä vuorovaikutuksessa (*socialisation*). Seuraavassa vaiheessa hiljaista tietoa muokataan ymmärrettävään ja tulkittavaan muotoon hyödyntäen käsitteitä ja malleja (*externalization*). Tietoa yhdistellään laajemmiksi kokonaisuuksiksi, järjestellään ja analysoidaan, jolloin se voidaan yhdistää myös aiemmin tallennettuihin tietoihin (*combination*). Eksplisiittinen tieto on laajasti organisaation hyödynnettävissä, samalla tieto sisäistetään osaksi tekemistä, ja se tulee myös osaksi yksilöiden henkilökohtaista tietopohjaa (*internalization*), josta kehä alkaa uudelleen.



Kuva 3.2. SECI-malli, joka havainnollistaa uuden tiedon syntymistä ja jakamista organisaatiossa (Nonaka & Takeuchi, 1995)

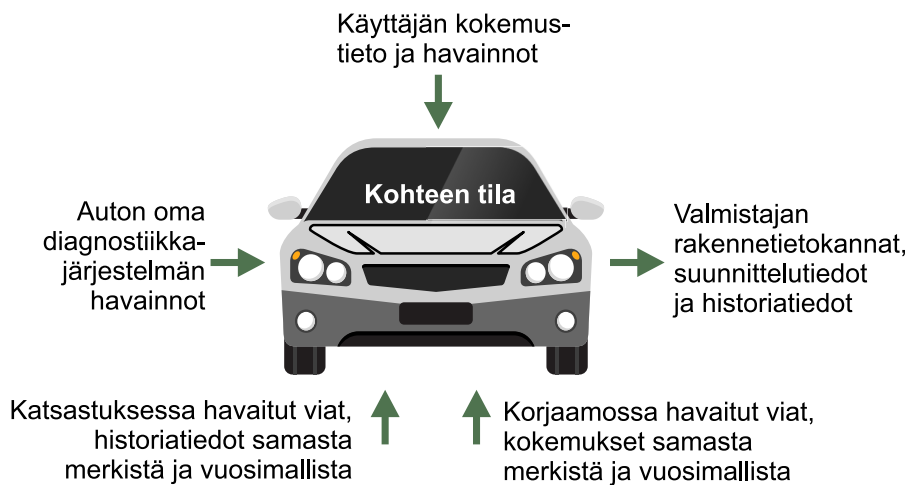
Hiljaista tietämystä voidaan oppia kokemuksen kautta ja sitä voidaan siirtää ja jakaa useita eri menetelmiä hyödyntäen. Näitä menetelmiä ovat mm. (Chennamaneni & Teng, 2011):

- havainnointi
- mentorointi,
- oppipoika-kisällimallit
- vertaukset (*metaphora*)
- analogiat
- tarinoiden kertominen
- konseptikartat
- prototyypit
- parhaat käytännöt
- kokemuksista oppiminen (*lessons learned*)
- asiantuntijahaastattelut
- asiantuntijajärjestelmät
- yhteinen ideointi (*brainstorming*)
- tapaustutkimukset (*case-based reasoning*)
- kalanruotokaaviot (*fishbone diagrams*)

## Elinjaksotiedon lähteitä

Elinjakson ensimmäisissä vaiheissa (ks. Osa 1, Kuva 1.1) suunniteltavaan kohteeseen liittyvää tietoa luodaan samalla kun kohteen suunnittelu ja toteutus etenevät. Elinjakson seuraavissa vaiheissa kertyy tietoa tuotteen suorituskyvystä, käyttövarmuudesta, tehdyistä kunnossapitotoimista ja muutoksista sekä käyttötavasta, olosuhteista ja rasituksesta, ja tämä tieto voidaan kerätä talteen. Digitalisaation myötä erilaisten tuotteen toimintaan ja käyttöön liittyvien tietojen mittaaminen ja monitorointi ovat teknisesti mahdollista ja kustannustehokasta, joten kerättävän tiedon määrä on useiden laitteiden kohdalla kasvanut räjähdysmäisesti, ja sen odotetaan yhä kasvavan. Esimerkiksi autonomisen henkilöauton on arvioitu tuottavan 4000 GB tietoa - joka päivä (Meariam, 2017).

Vaikka tietoa tuotetaan yhä enemmän, "big data", tekoäly ja data-analytiikka eivät ole uusia asioita. Esimerkiksi Shell Expro analysoi jo 1990-luvulla Pohjanmeren öljynporausjärjestelmien 20 toimintavuoden aikana tuottaman historiatiedon. Tietojärjestelmiin oli luotu tänä aikana yli 10<sup>8</sup> työmääräystä. Nämä työtilaukset siirrettiin yhteen tietokantaan ja tietokannan siivoamiseen kului kaksi vuotta. Tämän jälkeen tiedot analysoitiin. Lopputuloksena oli, että vain neljä tapausta (noin 3%) osoitti tilastollisesti merkittävää riippuvuutta, eikä kyse ollut satunnaisesta vaihtelusta (*non-randomness*). Kuitenkin jo yhden tunnistetun ongelman ratkaisu maksoi tehdyn työn. (Woodhouse, 2018)



Kuva 3.3. Elinjakson hallintaan liittyvää tietoa kertyy lukuisiin tietokantoihin ja -järjestelmiin

Tietoa siis kerätään runsaasti, mutta elinjakson hallinnan näkökulmasta katsottuna tieto kertyy moneen paikkaan, tieto on usein puutteellista ja laadultaan heikkoa. Esimerkiksi suunnittelussa on usein mahdollisuus hyödyntää monipuolista tietoa useista eri lähteistä, mukaan lukien (edellisistä tuotesukupolista saatava) käyttökokemustieto, käyttövarmuuden ja kunnossapidon analyysit ja simulaatiot. Takuuajan jälkeinen käyttövarmuuteen liittyvä mittausdata ja muu informaatio tallentuvat usein erilaisiin asiakaspalaute-, reklamaatio-, varaosa-, poikkeamailmoitus-, monitorointi- ja huoltotietokantoihin. Keskeiseksi kysymykseksi nousee, miten tämä tieto kootaan suunnittelun käyttöön. Käyttövarmuuden osalta useiden analyysien ja tietolähteiden integrointia ei nähdä tietojärjestelmäteknisenä asiana vaan koetaan, että kysymys on enemmänkin yhteistyöstä ja eri tietojen tuomisesta yhteiseen pöytään päätöksenteon pohjaksi. (Ahonen ym., 2012)

Käyttövarmuuteen liittyvää tietoa tallennetaan tuotteen elinkaaren eri vaiheissa useampien toimijoiden toimesta moniin tietojärjestelmiin kuten:

- Toimittajan tuotetiedon hallintajärjestelmät (*Product Data Management, PDM; Product Lifecycle Management, PLM*)
  - tuotteen suunnitteluun, valmistukseen ja asiakastoimituksiin liittyvät tiedot.
- Suunnittelujärjestelmät
  - tuotteen suunnittelussa syntyvät dokumentit kuten rakennekuvat, kaaviot, dokumentit ja spesifikaatiot
- Toiminnanohjausjärjestelmät (*Enterprise Resource Management, ERP*)



- o tuotteisiin tai tuotantolaitteisiin liittyvää tapahtumahistoriaa ja kustannustietoa
  - o ERP järjestelmiin voidaan liittää myös kunnossapidon hallinnan moduuli
- Tuotanto-omaisuuden hallinnan järjestelmät, EAM-järjestelmät (Enterprise Asset Management System, EAM)
  - o kattaa fyysisen omaisuuden ylläpidon tehtävät ja historiatiedon kunkin kohteen koko elinjakson ajan.
- Kunnossapidon tietojärjestelmät (*Computerized Maintenance Management System, CMMS*)
  - o kunnossapito-organisaation työtilaukset, materiaali- ja resurssiseuranta sekä hankinnat.
- Automaatio- ja prosessinohjausjärjestelmät
- käyttö- ja operointitietoja
- Kunnonvalvonnan järjestelmät
  - o mittaus- ja seurantatietoa koneiden ja laitteiden toiminnasta
- Tietokannat tai muut dokumenttivarastot, joihin tallennetaan tarkastuspöytäkirjoja ja vastaavia
- Tuotantolaitoksilla käyttöorganisaation päiväkirjat, jotka usein ovat sähköisessä muodossa

Käyttövaiheen tuotanto-omaisuuden hallintaan liittyvät tietojärjestelmät (CMMS, ERP, EAM) linkittyvät yhä enemmän tuotannonohjaus- ja automaatiojärjestelmien kanssa siten, että näistä järjestelmistä voidaan saada tarpeellinen tieto myös kunnossapidon tietojärjestelmään. Järjestelmien välistä kommunikaatiota on kehitetty myös niin, että kunnossapidon tietojärjestelmässä käsiteltävän vika- tai häiriöilmoituksen voi tehdä esimerkiksi käyttöorganisaation päiväkirjan tai tuotannonohjausjärjestelmän kautta.

Suunnitteluvaiheessa kirjallisuus ja tietokannat tarjoavat myös jossain tapauksissa lähtötietoja. Alla olevaan taulukkoon (Taulukko 3.1) on koottu tietokantoja, joihin on tallennettu luotettavuuteen liittyviä tietoja eri toimialoilta.

*Taulukko 3.1. Käyttövarmuustietoja tietokannoissa<sup>5</sup>*

Tietokanta	Kuvaus
OREDA - Offshore and Onshore Reliability Data	Öljy- ja kaasuteollisuuden komponentit ja laitteet
T-Book	Pohjoismainen ydinvoimateollisuuden luottavuustietokanta
EiReDA - European Industry Reliability Data	Eurooppalainen luottavuustietokanta, jossa pääosin ydinvoimateollisuuden komponentteja
MIL-HDBK-217F	Elektronisten laitteiden (Electronic Equipment) luotettavuuden ennustaminen
Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment	Mekaanisten laitteiden luotettavuustietoja (puolustusteollisuuden sovellukset)
Reliability Data for Control and Safety Systems - PDS Data Handbook	Anturit, ilmaisimet, venttiilit ja ohjauslogiikka
Exida- Safety Equipment Reliability Handbook	Turvallisuuden hallinta (anturit, logiikkayksiköt, toimilaitteet)
CCPS Guidelines for Process Equipment Reliability Data ja PERD - Process Equipment Reliability Data	Prosessilaitteiden luotettavuustietoja (AIChE)

<sup>5</sup> katso esim. <https://www.ntnu.edu/ross/info/data>

## Tuotetieto

Tuotetieto viittaa laajasti ajatellen kaikkeen tuotteeseen liittyvään dataan ja informaatioon. Tuotetieto voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan, joita ovat tuotteen määrittelytieto, elinkaaritieto ja metatieto (Saaksvuori & Immonen, 2004).

- Tuotteen määrittelytiedot
  - tuotteen fysikaaliset, toiminnalliset ja tekniset tuoteominaisuudet ja tuotteen rakenteen.
  - määrittelytiedot sisältävät mm. tuotteen piirustukset, kuvat ja kuvaukset.
- Tuotteen elinkaaritieto
  - tuotteen elinkaaren vaiheeseen sekä tilaus-toimitusprosessiin liittyvä tieto.
  - kattaa tuotteen koko elinkaaren teknologian tutkimuksesta tuotekehitykseen, valmistukseen, käytön tukeen ja käytöstä poistoon.
- Metatieto (*meta data*) on tietoa tiedosta.
  - metatieto kuvailee tuotetietoa: millaista tieto on, missä tieto sijaitsee, kuka on sen tallentanut ja kuinka tietoon voidaan päästä käsiksi.
  - jotta tietoa voidaan tietokannoista hakea, tarvitaan myös metatietoa

Tuotetieto voi olla luonteeltaan staattista tai dynaamista (Främling & Rabe 2006). Staattinen tieto on pääasiassa suunnitteluvaiheessa kerääntynyttä aineistoa tietystä tuotetyypistä. Sen sijaan dynaaminen tieto pitää sisällään tuotteen koko elinkaaren aikana kertyvää, erityisesti käyttövaihetta koskevaa ja näin ollen käyttökokemusta sisältävää aineistoa. Esimerkkejä staattisesta tiedosta ovat valmistettavan tuotteen materiaaleihin, komponentteihin, valmistajiin sekä konfiguraatioon ja alustavaan kunnossapito-ohjelmaan liittyvät tiedot. Pitkäikäisestä ja hitaasti muuttuvasta tiedosta käytetään usein myös termiä Master data. Tyypillisiä Master Data tietoja ovat tuotetiedot, organisaatio-tiedot, oman työntekijät sekä erilaiset koodistot.

Dynaaminen tuotetieto puolestaan pitää sisällään toteumatietoa, jonka keskeisenä piirteenä on tiedon jatkuva muuttuminen ja lisääntyminen. Esimerkkejä dynaamisesta tuotetiedosta ovat kunnossapitotapahtumista kirjattava tieto, erilainen tapahtumatieto (*event data*) sekä muutokset olosuhteissa. Edellisten tietotyyppiluokkien keskinäinen jako on toisaalta häilyvä, koska staattiseksi luokiteltava tietokin voi tietyissä tapauksissa olla muuttuvaa. Tuotekehityksessä tuotteisiin tehdään muutoksia, jotka puolestaan aikaansaavat tuotteen suunnitteludokumentaatioon laajojakin muutoksia. Tuotteen käyttövaiheesta kerättävää tietoa voidaan hyödyntää tuotekehityksessä, jolloin dynaamisen datan keruulla vaikutetaan staattisen datan muodostumiseen.

## Tuotetiedon hallinta elinkaaren aikana

Toimittajan tuotetiedon hallintajärjestelmään tallennetaan tuotteen suunnitteluun, valmistukseen ja asiakastoimituksiin liittyvät tiedot. Tuotetiedon hallinnan (*Product Data Management, PDM*) yhteydessä puhutaan tyypillisesti tuotteen elinkaaresta ja elinkaaren hallinnasta. Elinkaari käsitteenä liittyy tuotetyypiin; sen sijaan elinjakso viittaa tiettyyn tuoteyksilöön. Tuotetyypin elinkaaren hallinta on pääasiassa valmistajan näkökulmaan liittyvää päätöksentekoa aina tuotteen vaatimusten määrittelystä tuotteen poistamiseen markkinoilta. Yksittäisen tuoteyksilön elinjakson hallinta (*Product Lifecycle Management, PLM*) käsittää vaiheet tuotekehityksestä aina kyseisen tuoteyksilön käytöstä poistoon. Englanninkielisessä kirjallisuudessa käsitteellä *Lifecycle Management* voidaan viitata molempiin edellä mainittuihin näkökulmiin. Tuotteisiin liittyvää dataa kertyy yhä enemmän tilanteissa, joissa yrityksen tuotevalikoima kasvaa ja samalla tuotetyyppien elinkaaret lyhenevät. Tuotteiden asiakaskohtainen räätälöinti ja tätä kautta syntyneet tuotevariantit lisäävät informaation hallinnan haastetta, sillä tuoteyksilötason tiedonhallinnasta tulee entistä merkittävämpää.

Käytännössä PLM- ja PDM-käsitteiden ero on häilyvä. Yleisesti PDM-tietoa pidetään osana yrityksen PLM-järjestelmää sekä ns. toiminnallisena tietona, joka koskee tuotetiedon dokumentaatiota (kuten CAD-tiedostot). PLM-käsitteellä tarkoitetaan yleensä organisaation tai yrityksen konseptia tuotteen elinkaaren hallintaan sekä elinkaaritiedon tarvittavaan hajauttamiseen ja hallintaan. Vaikka tuotteen elinkaaren hallinnan tietojärjestelmät on tarkoitettu käytettäväksi kaikissa elinkaaren vaiheissa, niiden hyödyntäminen painottuu ja rajoittuu tavallisesti tuotesuunnitteluun (ks. Osa 1, Kuva 1.1).

Tuotetiedon hallinta sisältää tyypillisesti seuraavia tietotyypppejä: suunnittelua, liiketaloutta, dokumentin hallintaa, tuoterakenteita, teknisen suunnittelun muutosten hallintaa, lopullista suunnittelua koskevaa sekä paikallista tietoa.

Tuoterakenne muodostaa PLM-järjestelmän ytimen (Saaksvuori & Immonen, 2004) ja keskeisiä tuotetiedon hallinnan käsitteitä ovat tuoterakenteen (*product model, product structure*) lisäksi tuotteen tietomalli sekä osaluettelo (*Bill Of Materials, BOM*). Osaluettelo on nimensä mukaisesti lista tuotteen sisältämistä osista ja komponenteista. Tuoterakenne on hierarkkinen kuvaus tuotteen rakenteesta ja sen rakentamiseen järjestelmistä, alijärjestelmistä sekä niiden osista ja komponenteista. Fyysisen maailman tuoterakennetta vastaa käsitteellisellä tasolla tuotteen tietomalli (*product data model*).

Elinkaarenhallinnan sovelluksia (PLM) käytetään tuotetiedon hallitsemisessa koko tuotteen elinkaaren ajan siten, että kaikki tarvittavat ajantasaiset dokumentit ja informaatio ovat helposti käytettävissä eri tarkoituksiin. Tällöin tiedon löytäminen, jalostaminen, jakelu ja uudelleenkäyttö onnistuvat. PLM-järjestelmät siis mahdollistavat eri järjestelmistä kerätyn tiedon kokoamisen ja yhteiskäytön. Tällöin PDM-järjestelmien näkemys laajenee kattamaan tuotteen koko elinkaaren aikaisen ja useisiin käyttötarkoituksiin soveltuvan tiedon.

Usein suunnittelijoiden on kuitenkin vaikea löytää käyttövarmuuden toteutumista koskevaa tietoa ja hyödyntää sitä uusien laitteiden suunnittelussa. Takuuajan jälkeinen käyttövarmuuteen liittyvä mittaustieto ja muu informaatio on usein hajautuneena erilaisiin asiakaspalaute-, reklamaatio-, varaosa-, poikkeamailmoitus-, monitorointi- ja huoltotietokantoihin. Näitä tietojärjestelmiä kehitettäessä ei aina ole otettu huomioon suunnitteluprosessia ja sen eri vaiheisiin liittyviä käyttövarmuustehtäviä ja tietotarpeita. Tiedonkeruun systemaattinen suunnittelu kohdistaa tiedonkeruun oikein tiedon hyödyntäjien näkökulmasta. Keskitetty tiedonkeruun suunnittelu ja toteuttaminen poistavat päällekkäisyyksiä tiedonkeruussa ja huomioivat eri käyttäjäryhmien tarpeet. Huomioitaessa tiedon hyödyntämisen keinot jo suunnitteluvaiheessa on tiedon hyödyntäminen päätöksenteon tukena tehokkaampaa ja tulee todennäköisemmin tehtyä. (Ahonen ym. 2012)

## Tuotetiedon siirtäminen eri toimijoiden välillä

Tuotetiedon hallinnan järjestelmien tehtävänä on koota oleellinen tieto tuotteen elinkaaren ajalta kaikille tietoa tarvitseville toimijoille. Tavoitteena on ollut kasvattaa PLM-järjestelmät pelkkää tuotesuunnittelun ohjelmistotyökalua suuremmaksi kokonaisuudeksi. Laajan tietomassan saattaminen yhteiskäyttöön edellyttää tietomallien kehittämistä ja standardointia, ja integraatioarkkitehtuurien kehittämistä. Toimijoiden välistä yhteistyötä tukee mm. STEP (*Standard for the Exchange of Product Model Data*) standardiperhe, joka koostuu useista sadoista osa-standardista. STEP-standardia käytetään tietokoneavusteisen suunnittelun (CAD), työsuunnittelun (CAP) ja valmistuksen (CAM) integroinnissa. STEP-standardin rakenne on kuvattu ISO 10303-1 (1994) standardissa. STEP-standardi tarjoaa myös yhdenmukaisen tavan rakentaa ja kuvata tuoteinformaation kuvaamiseen tarvittavia tietomalleja (mm. ISO 10303-11, 2004 ja ISO 10303.28, 2007).

Investointiprojektissa tai hankintojen yhteydessä loppukäyttäjälle siirtyy fyysisen tuotteen lisäksi myös mittava määrä tuotteeseen liittyvää tietoa. Mikäli Master datan toimittamisen muodosta ei ole erikseen sovittu, toimitetaan toimitussisällön laitteisiin liittyvä Master data paperikopioissa, sähköisesti pdf-muodossa, CD-levykkeinä tai muistitikulla, josta se siirretään manuaalisesti asiakkaan ERP/CMMS tai EAM-järjestelmään. Myös taulukkolaskentaohjelmia (MSExcel tms.) käytetään tiedon siirron välineenä. Elinjakson hallinnan ja kunnossapidon suunnittelun kannalta keskeiset tiedot, kuten esimerkiksi huolto-ohje voi olla word-dokumentti, jossa huoltoväli on mainittu tekstin sisällä. Kun tietoja ei voida siirtää automaattisesti, asiakkaan pitää manuaalisesti poimia tämä tieto omaan EAM- tai CMMS- järjestelmäänsä. Erityisesti Greenfield-toimitusprojektin ongelma voi olla myös se, että prosessi- ja laitehierarkiaa ei ole luotu ja laitteiden positiointia (esimerkkinä Kuva 3.4) ei ole tehty, joten laitteita ei voida liittää mihinkään rakenteeseen. Muutoksia tulee paljon, ja jokaisella muutoksella on seurannaisvaikutuksia. Toimitusprojekteissa dataa siirretään yhä sähköpostilla eikä yhteisistä tietorakenteista ole aina sovittu. Tavoitteena onkin, että tietoja voisi siirtää ”älykkäässä muodossa” eli ohjelmointirajapinnan (*Application Programming Interface, API*) kautta järjestelmästä toiseen.

## Käyttövaiheen aikana syntyvän tiedon kerääminen

Käyttövaiheessa kerättyä tietoa laitteen toiminnasta tarvitsevat sekä käyttäjät että valmistaja, jonka tuotekehitykselle kentältä saatava vika-, häiriö- ja korjausajatieto antaa tärkeää palautetta. Standardin SFS-EN 60300-3-2 (2005) mukaan käyttövaiheessa luotettavuuteen liittyvää tietoa tulee kerätä systemaattisesti ja tietoa voidaan hyödyntää moni tavoin, kuten:

- kunnossapidon suunnittelu
- kehitys- ja parannustoimenpiteiden suunnittelua ja kehitystarpeiden arviointi
- tulevien resurssi- ja varaosatarpeiden ennakointi
- sopimusten toteutumisen seuranta
- käyttövarmuuden ennakointi
- palaute suunnitteluun ja valmistukseen
- takuukustannusten arviointi
- luotettavuusvaatimusten kehittäminen
- tiedon kerääminen tuotevastuukysymyksissä
- kenttätietojen kerääminen seuraavien tuotesukupolvien vaatimusmäärittelyn pohjaksi

Kuten edellä oleva luettelo osoittaa, valmistaja tai toimittaja voi hyödyntää tuotteen elinkaaren tai toimitetun järjestelmän elinjakson aikana tuotettua tietoa monin tavoin. Päätökset voivat liittyä tuotteen rakenteen kehittämiseen, järjestelmän komponenttien valintaan, kunnossapitopalvelujen kehittämiseen eli optimaalisen kunnossapitostrategian tai huoltojakson määrittelyyn, investointibudjetin kohdentamiseen, takuuajojen tai varaosien tarpeen arviointiin, varaosien hallintaan jne. Elinkaaripalvelujen tarjoajat voivat kerätä tietoja palveluiden kehittämisen ja arvioinnin tueksi, ja tukemaan tuotteen kehittämistä koskevia päätöksiä. Kerätyn ja analysoidun tiedon avulla voidaan myös tukea asiakkaidensa päätöksiä palveluna.

Myös tuotanto-omaisuuden hallinnan standardi ISO 55002 (2014) toteaa, että jokaisen organisaation on implementoitavat tarvittavat tiedon hallinnan prosessit ja dokumentoitava tarvitsemansa tiedot. Omaisuuksien hallinta vaatii luotettavaa, kattavaa ja hyvin dokumentoitua tietoa kaikista koneista ja laitteista sekä niiden käytöstä ja kunnossapidosta kohteiden koko elinjakson ajalta. Tuotanto-omaisuuden elinjakson hallinnan näkökulmasta katsottuna tärkeimpiä tietojärjestelmiä ovatkin toiminnanohjausjärjestelmät ja tuotanto-omaisuuden hallinnan tietojärjestelmät.

## Tuotanto-omaisuuden hallinnan tietojärjestelmät

Tuotanto-omaisuuden ja siihen liittyvien tietojen hallinta voidaan toteuttaa useilla tietojärjestelmävaihtoehdoilla. Erillisen CMMS-järjestelmän sijaan kunnossapidon hallintaan liittyviä tehtäviä voidaan hallinnoida yrityksen resurssienhallinnan järjestelmän (ERP) kunnossapidon moduulien avulla. CMMS-järjestelmiä on kehitetty kattavampaan suuntaan tukemaan tuotanto-omaisuuden koko elinjaksoa, ja niiden kohdalla käytetään usein termiä kunnossapidon EAM-järjestelmät (*Enterprise Asset Management System, EAM*). Jatkossa puhutaan yleisesti ottaen EAM-järjestelmistä, koska itse toiminnot, joita tietojärjestelmän tulee palvella, ovat yrityksestä ja järjestelmästä riippumatta hyvin samanlaisia. EAM-järjestelmä tyypillisesti sisältää useita osa-alueita, muun muassa laitteisiin liittyvät tiedot, päiväkirjasovelluksen, kunnossapitotöiden ohjauksen, materiaalien ohjauksen, kustannuslaskennan ja raportoinnin. EAM-järjestelmän avulla suunnitellaan, optimoidaan, toteutetaan ja seurataan kunnossapitotehtäviä ja niiden toteutumista, sekä näihin tehtäviin liittyviä prioriteetteja, kyvykkyyksiä, materiaaleja, työkaluja ja informaatiota. EAM-järjestelmä kattaa järjestelmän koko elinjakson kaikki vaiheet. Siten järjestelmä mahdollistaa työtilausten, materiaali- ja resurssiseurantojen sekä hankintojen hallinnan sekä tapahtumahistorian ja kustannustietojen keräämisen ja raportoinnin.

Tuotanto-omaisuuden hallinnan kannalta keskeisiä tietoja ovat:

- Mitä koneita, laitteita ja tuotantolaitteita (*assets*) meillä on?
- Missä nämä koneet ja laitteet sijaitsevat?
- Missä kunnossa tuotantolaitteemme ovat?
- Mitkä ovat liiketoiminnan kannalta kriittisiä tuotantolaitteita?
- Kuinka pitkään kukin kone ja laite vielä tulee kestävään?
- Mitkä ovat isoimmat riskit?

EAM-järjestelmään olisi hyvä liittää myös kuvallista materiaalia kuten, karttoja, satelliittikuvia, valokuvia ja valvontakameroiden tuottamaa kuvaa, jotta kohteiden sijainnin määrittämiseksi ja havainnollistamaan käyttö- ja ympäristöolosuhteita.

Kunnossapidon ohjauksen, investointien suunnittelun ja käyttövarmuuden kehittämisen kannalta oleellista tapahtumahistoriaa syntyy kunnossapidon ja käytön toimesta merkintöinä tietojärjestelmiin. Näiden merkintöjen sisältö määräytyy järjestelmiin luotujen tietokenttien perusteella. Esi-merkkinä tietojärjestelmän sisältämistä tiedoista on seuraavassa kuvassa (Kuva 3.4).

Asset Register - existing fleet details, history, valuations	Routine Maintenance Tasks and Prompts	<b>Area A</b> <b>Substation A01-000-000</b> <b>Bay A01-01-000</b> Circuit breaker A01-01-CB1 Current transformer A01-01-CT1 Voltage transformer A01-01-VT1 Circuit breaker A01-01-CB2 Current transformer A01-01-CT2 Voltage transformer A01-01-VT2 <b>Bay A01-02-000</b> Circuit breaker A01-02-CB1
Accounting system links	Work requests and Work Order Management	
Budgets	Work Procedures	
Management and Financial Reporting	Cost Estimating	
Suppliers and Purchasing	Work scheduling and Labour Roastering	
Inventory Management	Engineering Drawings, Data and Technical Documents	
Personnel Management	Geographic / Map system	

Kuva 3.4. Tuotanto-omaisuuden hallinnan tietojärjestelmä - esimerkki tietosisällöstä ja toimintopohjaisesta laitepaikkakoodistosta (Hastings, 2015)

Tuotanto-omaisuuden hallinnan tietojärjestelmän käyttöönotto edellyttää systemaattisen luokittelun ja koodausjärjestelmän käyttöönottoa ja toteutusta. Koneiden, laitteiden ja järjestelmien systemaattinen numerointi laitepaikkojen tai positiokoodien avulla on tärkeää, jotta vikatapahtuma, työmääräys tai huoltotoimenpide, käytetyt varaosat ja työaika voidaan kohdistaa oikealle kohteelle - ja siksi, että isossa laitoksessa kohteet voidaan ylipäättään löytää ja tunnistaa. Esimerkkinä toimintopohjaisesta numeroinnista on kuvassa (Kuva 3.4). Huomioitavaa on, että toimintopaikka usein pysyy samana, vaikka paikalla oleva kone tai laite vaihdetaan uuteen.

Eri toimialoilla on omia vakiintuneita käytäntöjä laitepaikkakoodiston muodostamiseen. Yleisen mallin tarjoaa PSK 7102 (2008), joka määrittää tehdashierarkiat neljään eri ryhmään. Näitä ryhmiä ovat paikka-, prosessi- ja laitehierarkia sekä muut hierarkiat. ”Muita hierarkioita” ovat esimerkiksi kustannuspaikkahierarkia, kytkentähierarkia, luokkahierarkia, nimikehierarkia sekä dokumenttihierarkia. Paikkahierarkiassa rakenne muodostetaan laitteiden fyysisen sijainnin mukaan. Paikkahierarkian tasoja ovat maanosa, maa, paikkakunta, tehdasalue, laitos, alue, taso ja sijainti. Prosessihierarkiassa laitoksen hierarkia rakennetaan pohtimalla laitoksen toimintojen riippuvuussuhteita toisiinsa, jolloin tasot muodostuvat seuraavasti:

- Laitos
- Tuotantoyksikkö
- Tuotantolinja
- Prosessi
- Osaprosessi
- Toiminto
- Alitoiminto

Laitehierarkiassa laitteet jaetaan edelleen komponentteihin ja siitä edelleen osiin. Laitehierarkian avulla vikatapahtumia ja työtilauksia voidaan kohdentaa jopa laitteen yksittäisille osille. Yksittäinen laite voi liittyä useampaan hierarkiaan ja käyttäjä itse valitsee mitä hierarkiaa haluaa käyttää. Näin ollen sähköasentajat pystyvät tarkastelemaan esimerkiksi työtilauksia sähköisen puolen hierarkiasta ja mekaanisen puolen asentajat taas mekaanisen puolen hierarkiasta. Laitehierarkiassa olevalle laitteelle voidaan määrittää positionumero myös automaatiojärjestelmään.

Elinjakson hallinnan näkökulmasta katsottuna EAM-järjestelmiin tallennettujen tietojen hyödynnettävyyttä vaikeuttaa usein se, että data on tallennettu liian yleisellä tasolla (ei laiteperustaista dataa, laitehierarkiaa ei ole muodostettu) ja se, että korjausaikoja ja vikaantumisten seurauksia tai syitä ei ole kirjattu. Vapaamuotoiset kuvaukset ovat usein ylimalkaisia ja lyhyitä (ks. esim. Kuva 3.5). Lisäksi osa töistä voi jäädä kokonaan kirjaamatta. Tehdyistä korjaustöistä olisi hyvä kirjata vähintään (Kortelainen ym., 2003):

- Kuvaus havainnoista - mitä löytyi?
- Kuvaus tehdystä työstä - miten poistit ongelman?
- Kuvaus työssä esille tulleista haasteista - mitä ongelmia tai viiveitä työssä oli?
- Mistä mahdolliset viiveet johtuivat?
- Tarvitaanko tarkistusta tai pitääkö työtä jatkaa tavalla tai toisella?
- Mitä voidaan tai pitäisi tehdä, jotta tapahtuma ei toistuisi?

## Tuotanto-omaisuuden hallinnan tietojärjestelmät - tapahtumatietojen luokittelu

Standardissa IEC 60300-3-2 (2005) on kuvattu kentältä kerättävän luotettavuustiedon sisältöä ja luokittelua. Standardin mukaisia dataluokkia (1-6) voidaan täydentää palveluiden tai toiminnan näkökulmasta katsottuna tarpeellisilla dataluokilla (alla olevan listan luokat 7-8, ks. Ahonen & Reunanen, 2009):

1. perusinformaatio
2. ympäristöluokitus
3. ympäristöolosuhteet
4. käyttöolosuhteet
5. vikatiedot
6. kunnossapitovarmuus
7. ehkäisevä kunnossapito, investoinnit ja muutokset
8. käyttötiedot ja turvallisuus.

Mitä yksityiskohtaisempaa tietoa voidaan kerätä, sitä paremmin sitä voidaan hyödyntää niin kunnossapidon kehittämisessä kuin laitevalmistajan tuotekehityksessä. Muun muassa Kortelainen ym. (2003) ovat kehittäneet luokittelumenetelmän vika- ja häiriötapahtumien ja niiden seurausten kuvaamiseen. Hyvin toteutetulla vikatietojen luokittelulla voidaan tehostaa ja helpottaa laajasta tietomassasta tehtävien analyysien tekemistä. Luokittelukentät ja valintoja sisältävät listat ja valmiit alasvetovalikot nopeuttavat tiedon kirjaamista ja vähentävät virheitä, jolloin kerätyn tiedon laatu paranee. Tässä luokittelumallissa (ks. Kuva 3.5) vikaantumiseen liittyvää dataa täydennetään seuraavilla esitietoja sisältävillä valikoilla:

- laitteen nimi ja laitepaikkanumero tai -koodi,
- vian havaitseminen
  - kunnonvalvonta, kenttämittaus, automaatiojärjestelmän hälytys, laadunvalvonta, aikataulutettu kunnossapito (laitoksella käytetty termi *regular maintenance*), operaattorin havainto
- ympäristöolosuhteet vian havaitsemisen aikaan
  - normaali, likainen/pölyinen ilma, korkea lämpötila, likaiset laitteet, märät laitteet
- vian vaikutus tuotantoon
  - pysäyttää koko tuotantolinjan/osaprosessin, laitteen, alentaa tuotantonopeutta, laadun heikkeneminen, ei vaikutusta, aikataulutettu kunnossapito
- vikaryhmä
  - mekaaninen, sähkö, instrumentointi, voitelu, hydraulinen, tietokoneet, automaatio

- vian ilmenemistapa
  - vuoto, tärinä, ääni, ylikuumeneminen tms.
- vikaantumissy
  - korroosio, tukkeutuminen, normaali kuluminen, asennusvirhe, ennakoivan kunnossapidon puuttuminen, käyttäjän virhe yms.

Esimerkkinä edellä kuvatusa luokittelumallista paperitehtaan puunkäsittelylinjoilta (*South, S* ja *North, N*) kerättyä kunnossapitotietoa alla olevassa kuvassa (ks. Kuva 3.5). Kunnossapito- ja vikatiedot on kerätty erillisen tehtaan varsinaiseen EAM-järjestelmään liitetyn tiedonkeruusovelluksen avulla. Tiedonkeruu perustuu vikaraporttiin, jonka eri kenttiin kirjataan kohteen tunnistetiedot sekä vikaantumista kuvaavat tiedot. Tiedon syöttöä on yksinkertaistettu alusvetovalikoiden avulla. Koska kunnossapitotapahtumaan liittyvien tietojen syöttäminen tietojärjestelmään on manuaalista, täytyy tietojen kirjaamisen olla mahdollisimman nopeaa ja vaivatonta. Tästä syystä laitoksen tiedonkeruuprosessia ja toimintatapoja pitää kehittää yhdessä kaikkien sidosryhmien kanssa, jolloin toimintatapa ja tietojärjestelmä saadaan tukemaan toisiaan.

W/O Number	Asset code	Eq.Name	Date	Description	Downtime, hrs	Failure Discovery	Env. Condition	Failure Criticality	Failure Group	Failure Indication	Failure Cause
127	N-02-00	N Debarking Drum	date	Vibration on motor, check fan blades also		Field Measurement	Normal	Stop The Whole Process	Mechanical	Vibration	Normal wearing
167	N-01-02	N Log line Portal crane	date	Weekly pm of crane. Repaired leak, checked brushes.		Regular Maintenance	Wet Equipment	Regular Maintenance	Mechanical	Regular Maintenance	Normal wearing
184	S-03-00	S Chipper	date	Brake pads bad on chipper. Change brake pads and reset all anvils. 2.5 hrs. chipping time.	2,5	Observation	Normal	Stop part of the Process	Mechanical	Does not operate correctly	Normal wearing
175	S-02-00	S Debarking Drum	date	Kept getting alarms - line plugged - 6 hrs.		Alarm from the process computer	Dirty/Dusty air	Stop The Whole Process	Lubrication	Does not operate correctly	Blockage

Kuva 3.5. Luokittelumallia hyödyntäen kerättyä kunnossapito- ja vikatietaa (Kortelainen ym., 2003)

PSK 9101 (2018) standardissa vähimmäistietokenttien kokonaisuus on muodostettu valitsemalla teollisuudessa yleisesti käytettyjä käyttövarmuuden mittareita ja määrittelemällä näiden laskemiseen tarvittavia tietokenttiä. Esiteltävät lähtötiedot on jaoteltu kahteen ryhmään: aikaleimoja sisältävät tietokentät ja esivalintoja sisältävät tietokentät (Taulukko 3.2).

Taulukko 3.2. Kunnossapitotiedon vähimmäistietokentät (PSK 9101, 2018)

Aikaleimoja sisältävät tietokentät	Esivalintoja sisältävät tietokentät
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poikkeaman havaitsemisajankohta</li> <li>• Poikkeaman seurausten alkamisajankohta</li> <li>• Toimenpiteen seurausten alkamisajankohta</li> <li>• Toimenpiteen seurausten päättymisajankohta</li> <li>• Tuotannon palautumisen ajankohta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poikkeamahavainnon kohde</li> <li>• Poikkeamatyyppi</li> <li>• Poikkeaman seuraus tuotannolle ennen toimenpidettä</li> <li>• Toimenpiteen ajoitus</li> <li>• Toimenpiteen seuraus tuotannolle</li> <li>• Poikkeaman seuraus tuotannolle toimenpiteen jälkeen</li> </ul>

Poikkeaman seuraus tuotannolle ennen toimenpidettä kuvaa havaitun häiriön välitöntä vaikutusta tuotannolle ennen kuin käyttö tai kunnossapito on aloittanut häiriön poistamiseen tähtääviä toimenpiteitä. On esimerkiksi mahdollista, että havaittu poikkeama alentaa järjestelmän suorituskyykyä tai laaduntuottokkyä (poikkeaman seuraus), mutta ongelman poistamisen vaatima toimenpide vaatiikin kohteen pysäyttämistä toimenpidettä varten (toimenpiteen seuraus). Ennen toimenpidettä ilmenevän seurauksen kesto pyritään saamaan toimenpiteen seurauksen alkamisajankohdan ja poikkeaman seurauksen alkamisajankohdan välisenä erotuksena, mutta erikoistilanteissa myös muista järjestelmistä tai manuaalisesti syötettynä.

Esimerkkejä esivalinnoista, jotka liittyvät poikkeaman tai toimenpiteen seurauksiin, ovat mm.:

- ei seurausta
- ei erillistä seurausta (sama kuin poikkeaman seuraus)
- pysäyttää tuotannon
- vähentää tuotantoa 50%
- heikentää laaduntuottokykyä 10%
- muita välillisiä kustannusvaikutuksia

Edellä kuvattujen (Taulukko 3.2) tietojen perusteella voidaan laskea esimerkiksi järjestelmän kokonaiskäytettävyys, kunnossapidosta johtuva toiminnallinen käytettävyys ja toimintavarmuus, keskimääräinen vikaantumisaika, MTTF ja keskimääräinen häiriötoipumisaika, MTTR.

EAM-järjestelmiin tallennetaan myös käyttäjien vapaamuotoisesti kirjaamia vika- ja häiriökuvauksia ja tehtyjen toimenpiteiden kuvauksia, joista esimerkkinä myös kuvan (Kuva 3.5) vapaamuotoiset kirjaukset. Uuden teknologian käyttöönotto on monimuotoistanut myös tiedon tuottamista ja tallennetut tiedot sisältävät myös kuvia ja videoita. Tiedon analysoimiselle ja hyödyntämiselle strukturoidun ja monimuotoisen tiedon kuitenkin asettaa haasteita.

## Asiantuntijoiden tietämyksen hyödyntäminen

Tietojärjestelmien lisäksi usein hyödynnettyjä tietolähteitä ovat käyttäjät, joilta kerätty tieto eri muodoissaan muodostaa usein nopeimman keinon saada yleiskuva järjestelmän käyttövarmuudesta ja kehitystarpeista. Asiantuntijoiden hyödyntäminen voi olla jopa ainoa tietolähde, jos tapahtuma on hyvin harvinainen, havaintoja on vain vähän, tarkastellaan uutta teknologiaa, jonka osalta käytökokemustietoa ei ole saatavilla, tai arvioidaan tulevaisuudessa tapahtuvaa kehitystä.

Asiantuntija-arvioiden hyödyntämiseen liittyy aina virhelähteitä koska ihmisillä esiintyy taipumuksia hahmottaa ja painottaa havaintojaan, tulkintojaan ja informaatiota tietyillä tavoin (Baybutt, 2018). Tästä syystä asiantuntijoiden asiantuntevuuteen ja osaamisen kattavuuteen sekä heidän sitoutumiseensa on kiinnitettävä erityisen suurta huomiota. Yksittäisten asiantuntijoiden lisäksi huomiota on kiinnitettävä ryhmän toimintaan ja keskinäiseen luottamukseen. Yhteinen päämäärä helpottaa työhön ryhtymistä ja auttaa myös toisilleen vieraita henkilöitä tehokkaaseen työskentelyyn.

Ohjatun asiantuntijaprosessin kuten työpajan avulla saadaan käyttöön asiantuntijaryhmän eksplisiittinen, näkyvä tieto ja myös hiljainen tieto. Työpajassa työryhmä tuottaa enemmän tietoa kuin jäsenet yksittäin pystyisivät tuottamaan. Näin työryhmässä tapahtuu tiedon kumuloitumista ja uusien näkökulmien esiin työntymistä. Työpajoissa käytettävillä visuaalisilla työpohjilla voidaan nähdä olevan myös paikka hiljaisen tiedon esiin nostamisessa ja ryhmätyötä ohjaavat avainsanat auttavat fokusoitumaan käsillä olevaan tehtävään nopeasti. (Molarius, 2015)

Kvalitatiivinen eli laadullinen menetelmä valitaan luotettavuuden tai riskien arviointiin, jos tarkasteltavasta kohteesta ei ole käytettävissä kattavaa vikatilastoa. Kvalitatiiviset menetelmät perustuvat asiantuntijatyöryhmältä kerättävään tietämykseen kohteen vikamuodoista, vikaantumisista, käytettävyydestä ja kunnossapidettävyydestä. Useimmiten analyyseissä arvioidaan ja kvantifioidaan myös tunnistettujen vikamuotojen kriittisyys. Tyypillisiä laadullisia menetelmiä työpohjineen ovat mm. potentiaalisten ongelmien analyysi (POA), vikapuut (FTA), luotettavuuslohkokaaviot (RBD), vika- ja vaikutusanalyysit (VVA, FMECA), vaara-analyysit (esim. EN 1050 Check list) sekä kunnossapitoanalyysit (esim. RCM).



1	Subsystem, function, item number	Failure mode	Effects of failure	Cause(s) of failure	Means for detection	Current preventive measures	Improvement actions, additional information, remarks	Severity	Occurrence	Detection	RISK (SxO)	OxD	S*D
2													
3													
4													
5													

### FAILURES

Other...

Failure mode

#### Failure effects and causes

Effects of failure

Severity of effects (S)

7 High

Causes of failure

#### Detection and measures

Means for detection (D)

Easiness of detection

10 Impossible

Current preventive measures

Improvement actions

#### Occurrence

Probability of failure

10 High

Annual failure rate

0,05 per year

#### Results

RPN (SxOxD)

Risk (SxO)

Detection (D)

#### Direct and indirect failure costs

##### Unplanned maintenance costs (k€)

Spare parts k€

Service work - time h

Service work - cost €/h

##### Production losses (k€)

Energy production decrease 1st phase (in the beginning)

Energy production 2nd phase

Energy cost €/MWh

% decrease of performance

Duration days

##### Total cost / failure (k€)

Kuva 3.6. FMECA työpohja ja MS Excel-sovellus FMECA ryhmätyön tukemiseen, tiedon tallentamiseen ja raportointiin (Tiusanen ym., 2020)

Kuvassa (Kuva 3.6) on esitetty VVA (FMECA) analyysin työpohja sekä analyysin tueksi kehitetty MS Excel sovellus, jota tässä esimerkissä on hyödynnetty täysin uuden tuotteen tuotekehityksen tukena. Koska käyttökokemustietoa laitteen toiminnasta ei ole saatavissa, tekijöitä arvioidaan valmiiden luokitusten avulla. VVA-analyysiä täydennetään vika- ja häiriötapauksien taloudellisen merkityksen arvioinnilla.

## Keskeiset opit

- Elinjakson hallintaan liittyvä tieto on monimuotoista, numeerisen tiedon lisäksi kuvia, kaavioita, kirjoitettua tekstiä ja ihmisten ja asiantuntijoiden osaamista ja hiljaista tietoa.
- Data on raaka-aine ja harvoin käyttökelpoista tai arvokasta sellaisenaan. Datan arvo muodostuu, kun se jalostetaan hyödynnettävään ja helposti ymmärrettävään muotoon.
- Elinjaksoon liittyvä tietoa on usein hajallaan, koska tietoa kertyy useisiin tietojärjestelmiin ja useille toimijoille. Tämä hajanaisuus vaikeuttaa usein tiedon hyödyntämistä.
- Elinjaksotiedon hallinnan osalta keskeisiä ovat laitevalmistajan tai -toimittajan tuotetiedon hallinnan järjestelmät (PDM, PLM) ja käyttö- ja kunnossapito-organisaatioiden kunnossapidon tietojärjestelmät (CMMS, ERP, EAM).

## 3.2 KUNNONVALVONTA

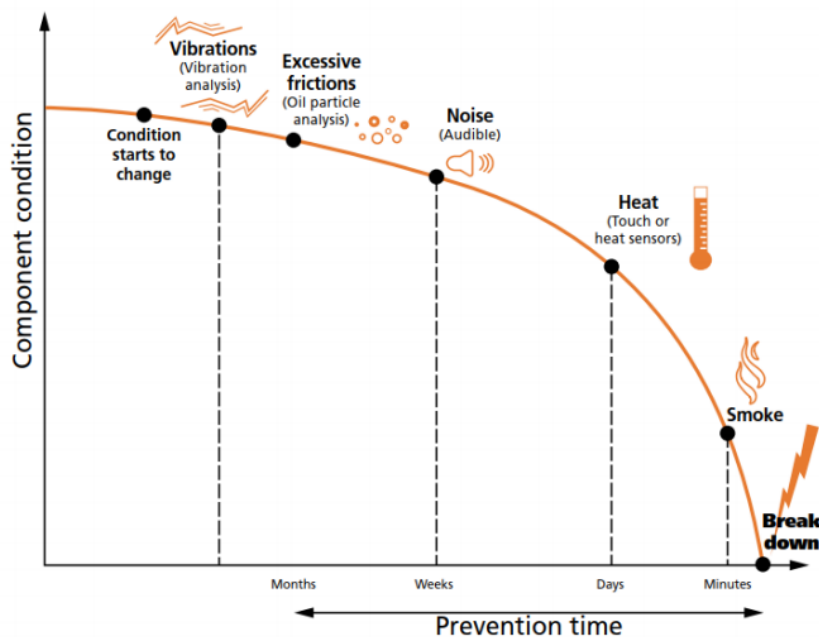
*Jouko Laitinen*

### Johdanto

Kun laitteiden monimutkaisuus lisääntyy, niiden vikaantumisen ennustaminen vaikeutuu. On arvioitu, että suurin osa laitteista vikaantuu niin satunnaisesti, että niiden huoltaminen käyttöaikaan perustuen ei ole mahdollista. Parhaaksi ja toteuttamiskelpoisia tavaksi hallita tilannetta on osoittautunut kunnonvalvonta, jolloin laitteen huoltaminen perustuu sen kuntoon. Tämä menetelmä on siitä hyvä, että siinä ei tarvitse ennustaa eikä arvailla mitään, vaan kunnon arvioiminen perustuu laitteen toimintakuntoon ja siitä saatavaan tietoon. Haasteeksi on osoittautunut sopivan kunnonvalvontamenetelmän valitseminen. Laaja kunnonvalvonta, joka käsittää useita laitteita tai järjestelmiä vaatii myös kehittyneitä analytiikkaa, jotta kunnonvalvonta voidaan toteuttaa automaattisesti.

### Kunnonvalvontamenetelmän valinta

Sopivan kunnonvalvontamenetelmän valinta riippuu myös valvottavasta kohteesta. Esimerkiksi rakenteen kunnonvalvontaan sopii parhaiten visuaalinen tarkastus, kun taas laakereiden kunnonvalvontaan sopiva menetelmä on värähtelyanalyysi. Kunnonvalvontamenetelmän valintaan vaikuttaa myös se, kuinka varhaisessa vaiheessa halutaan saada tieto lähestyvistä viasta. Jos laite ei ole kriittinen voidaan jopa päättää, että laitteen annetaan vikaantua, ennen kuin laite korjataan. Kriittisten laitteiden vikaantumiseen taas halutaan varautua mahdollisimman aikaisin, jotta voidaan päättää, mikä on sopiva ajankohta huolto- tai korjaustoimenpiteelle (Kuva 3.7).



Kuva 3.7. Esimerkkejä eri kunnonvalvontamenetelmillä saatavasta ennakkotiedosta vikaantumisesta

Erilaisia kunnonvalvontamenetelmiä:

- Värähtelyanalyysi
  - on todennäköisesti parhaiten tunnettu ja tutkittu menetelmä, joka sopii erityisesti pyöriville koneille.
- Visuaalinen tarkastus ja ainetta rikkomaton koestus (NDT)
  - toteutetaan tavallisimmin ulkoisena palveluna. NDT on erikoisosaamista vaativa alue, joka edellyttää koulutusta ja osaajat on sertifioitu
- Suorituskyvyn seuranta ja analyysi
  - ei erityisen tunnettu menetelmä, vaikka laitteen vikaantuminen tavallisesti lisää merkittävästi energian kulutusta
- Partikkelianalyysi (öljyanalyysi)
  - antaa tietoa lähestyvistä viasta aikaisemmin kuin useimmat muut menetelmät
- Lämpökamera
  - voidaan tarkastaa nopeasti laajoja kokonaisuuksia ja menetelmä soveltuu niin mekaanisten kuin sähkölaitteiden valvontaan

Antureiden ja mittalaitteiden hinnat ovat laskeneet nopeasti, joten kunnonvalvonta on yhä edullisempaa toteuttaa. Haasteena on kuitenkin tiedon käsittelyn automatisointi. Kun järjestelmiä voidaan anturoida laajasti, samalla kasvaa myös analysoitavan datan määrä. Suuren datamäärän analysointi vaatii automatisoitua prosessia ja kehittyntä analytiikkaa mm.

- Menetelmiä jäljellä olevan eliniän arviointiin
- Malleja automaattiseen diagnostiikkaan
- Kehittyntä signaalinkäsittelyä ja analysointia
- Standardisoituja ratkaisuja erilaisten vikamuotojen monitorointiin erilaisissa sovelluksissa

Kunnonvalvonnassa hyödynnetään antureista saatavan tiedon lisäksi myös järjestelmästä tai laitteesta saatavaa prosessidataa, varsinkin jos valvottavaan laitteeseen ei ole mahdollista jälkikäteen asentaa varsinaisia kuntoa valvovia antureita.

## Keskeiset opit

- Kunnonvalvonnan avulla laitteen huoltaminen voi perustua kohteen kuntoon.
- Antureiden ja mittalaitteiden hinnat ovat laskeneet nopeasti, joten kunnonvalvonta on yhä edullisempaa toteuttaa
- Laaja anturoida tarkoittaa myös suurta analysoitavan datan määrää. Suuren datamäärän analysointi vaatii automatisoitua prosessia ja kehittyntä analytiikkaa.

## 3.3

### TIEDON JALOSTAMINEN JA RIKASTAMINEN

*Helena Kortelainen ja Toni Ahonen*

#### Johdanto

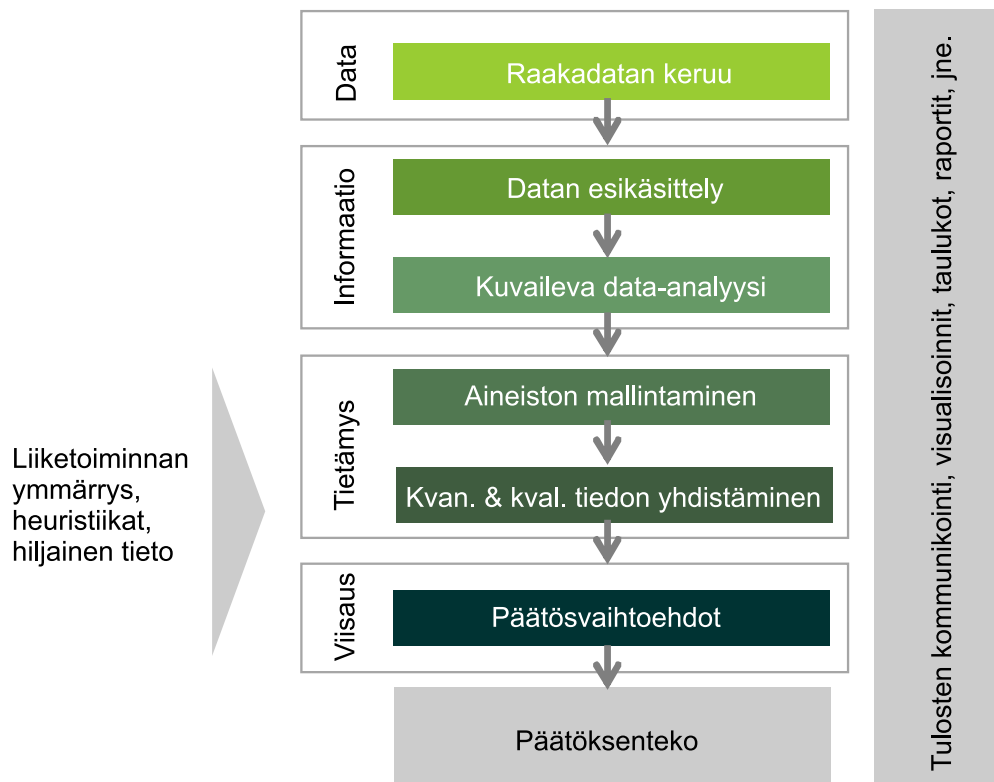
Tiedon kerääminen on luonnollisesti lähtökohta tiedon jalostamissa päätöksen tuen välineeksi. Yleinen käsitys tuntuu varsin laajasti olevan se, että suuri datamäärä itsessään riittää niin tuotekehityksen tueksi kuin tietointensiivisten palveluiden tarjoamiseen. Näin ei kuitenkaan ole, vaan tunnettu sanonta ”*Garbage in, garbage out*” pitää paikkansa. Datan laatu, kattavuus ja luotettavuus ovat luotettavien johtopäätösten ehdoton edellytys. Datan analysointi vaatii sekä analyytiikkaosaamista että syvällisen ymmärryksen sovelluskohteesta. Tässä kappaleessa esitellään tiedon jalostamisen prosessi yleisellä tasolla.

#### Tiedon jalostamisen prosessi

DIKW (*Data - Information - Knowledge - Wisdom*) -malli ei ota kantaa tiedon jalostamisen prosessiin tai välineisiin. Tarvittavat tiedon analysointimenetelmät riippuvat sekä tiedon käyttökohdesta ja tarpeista, että käytössä olevasta aineistosta. Aineisto määrittää sen, käytetäänkö kvalitatiivisia eli tekstitietoa analyysoivia vai kvantitatiivisia eli numeerista tietoa analyysoivia menetelmiä. Yleisellä tasolla tiedon jalostaminen päätöksentekoa tukevaan muotoon voidaan kuitenkin esittää seuraavien kuuden vaiheen avulla (ks. Kuva 3.8):

1. Datan keruu
2. Datan esikäsittely
3. Kuvaileva data-analyysi
4. Aineiston analysointi
5. Kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tiedon yhdistäminen
6. Vaihtoehtojen vertailu

Datan ja informaation tuottaminen ovat pääsääntöisesti teknisiä kysymyksiä, jotka pystytään automatisoimaan, kun soveltuvat tiedonkeruumenetelmät on valittu ja tarvittavat raportit määritetty. Hierarkian ylimmät tasot, tietämys ja viisaus, vaativat laajempaa ymmärrystä tarkasteltavasta kohteesta eikä pelkkä tekninen aineiston keruu ja käsittely enää riitä. Tilastollisen tiedon analysoinnin lisäksi on hyödynnettävä liiketoimintaympäristöä kuvaavaa tietoa, asiantuntijoilla olevaa hiljaista tietoa jne., jotta voidaan muodostaa käsitys mahdollisista vaihtoehdoista ja niiden hyödyistä ja haittoista.



Kuva 3.8. Datan analysointiprosessi ja DIKW-hierarkia (Kunttu ym., 2017)

## Datan kerääminen

Tiedon kerääminen on luonnollisesti lähtökohta tiedon jalostamissa päätöksen tuen välineeksi. Tiedonkeruu tulisi suunnitella tiedon hyödyntämistä silmällä pitäen. On tyypillistä, että osa tiedonkeruusta suunnitellaan ja toteutetaan tiettyä tarkoitusta ja analyysimenetelmää varten, ja osa tiedoista tallentuu tietokantoihin pääasiassa olemassa olevien rutiinien ja raportointikäytäntöjen vuoksi. EAM-järjestelmää käytetään usein vain työmääräysten ja materiaalivirtojen hallintaan ja raportointiin, mutta sinne kertyvän tapahtumatiedon hyödyntämistä ei ole suunniteltu. Sen sijaan kunnonvalvonnan (*condition monitoring*, CM) tiedonkeruu on usein huolella suunniteltu kunnossapitotoimia ajatellen.

Elinjakson ja -kaaren hallintaan liittyvä tieto tallentuu moniin eri IT-järjestelmiin, joita on käsitelty laajasti kohdassa 3.1. Tiedon määrän sijaan haasteena on useimmiten tiedon laatu ja kattavuus, koska kaikkia elinjakson hallinnan tehtävissä tarvittavaa tietoa ei ole järjestelmiin systemaattisesti tallennettu (esim. korjausajat, vian seuraukset) tai tieto on vaikeasti hyödynnettävässä muodossa kirjoitettuna tekstinä tai kuvina. Tietojärjestelmiin tallennettua tapahtumatietoa onkin usein täydennettävä asiantuntija-arvioilla myös siksi, että tarkasteluissa vaaditaan usein näkemystä jonkin ilmiön, liiketoiminnan tai markkinoiden tulevasta kehityksestä (Kortelainen ym.2014).

## Datan esikäsittely

Raakadata tai aineisto ovat harvoin hyödyllinen sellaisenaan, ja saattaa vaatia paljon työtä, ennen kuin suunniteltu data-analyysi voidaan suorittaa. Käsiteltävän aineiston laatu on ratkaisevan tärkeää tiedon analysoinnin onnistumisen kannalta. Aineiston laatua heikentävät seikat voivat olla satunnaisia tai systemaattisia. Satunnaiset virheet, jos niiden määrä ovat kohtuullisen vähäinen, eivät aiheuta tuloksiin vääristymiä (*bias*). Satunnaisia virheitä voidaan jäljittää esimerkiksi visualisoinneilla tai ristiintaulukoinnilla.

Systemaattiset virheet voivat vääristää tuloksia ja harhaanjohtavien tulosten välttämiseksi kerätty aineisto on tutkittava ensin huolellisesti. Tärkein syy systemaattisiin virheisiin löytyy tiedon keräämisestä joko puutteellisista ohjeista tai tallentamisen käytännöistä. Systemaattisten virheiden tunnistamiseksi tietoa analysoiva henkilö tarvitsee syvällisen ymmärryksen siitä, miten tiedot on kerätty, mitkä tietoa muuttujat sisältävät, miten ja milloin tieto on kirjattu ja mitä ovat käytäntöjä on noudatettu. Käytännön tiedonkeruu tai tietojen kirjaaminen voi poiketa ohjeistuksesta (Kortelainen ym., 2019).

## Kuvaileva data-analyysi ja aineiston mallintaminen

Kuvailevan data-analyysin tavoitteena on ymmärtää kerätyn datan tietosisältöä ja tuottaa tietoa päätöksentekoon. Kuvaileva data-analyysi tarjoaa yhteenvedon kerätystä datasta. Yhteenvedo koostuu tilastollisten tarkastelujen perusmittareista (esim. keskiarvo, mediaani, varianssi), taulukoista (esim. vikataajuudet, ristitaulukointi) tai lukuja (esim. pylväskaaviot, laatikkokaaviot, hämähäkki-kaaviot/tutkakartat), jotka esittävät tarkastelijan näkökulmasta katsottuna mielenkiintoisia datan ominaisuuksia. Kuvaileva data-analyysi tarjoaa ensivaikutelmia datan merkityksestä ja muuttujien välisistä suhteista. Esimerkki kuvailevasta data-analyysistä (Kuva 3.6) havainnollistaa nopeasti esimerkiksi tiedonkeruun puutteita ja aikasarjaan liittyviä poikkeamia.

Aineiston mallintaminen vaatii kykyä ja osaamista valita aineistoon ja analyysin tavoitteisiin sopivat mallit, menetelmät, algoritmit ja työkalut. Tutkittavan järjestelmän käyttäytymisen ymmärtämisen on keskeisen tärkeä osa mallintamista, ja data-analyysiä voidaan tukea laadullisen tarkastelun avulla. Erilaisten aineistojen mallinnusmenetelmiä on paljon (ks. esim. Høylund & Rausand System Reliability Theory (2009)), joten yksittäisiä menetelmiä ei käsitellä tässä. Tiedon analysoinnin todellinen lisäarvo muodostuu silloin, kun datan avulla pystytään ennustamaan kohteen tulevaa käyttäytymistä ja suorituskykyä, arvioimaan jäljellä olevaa käyttöikää, tunnistamaan järjestelmän heikkouksia ja tukemaan suunnittelua ja päätöksentekoa. Kuva 3.12 havainnollistaa datan hyödyntämisestä kahden skenaarion avulla. Toisessa skenaariossa mitään toimia ei tehdä ja vikataajuus jatkaa kasvuaan, toisessa skenaariossa vanhentunut järjestelmä korvataan uudella järjestelmällä. Mallinnuksen avulla voidaan laskea uusinnasta saatava rahallinen hyöty ja arvioida uusinnan kannattavuutta.

Elinjakson hallinnan luotettavuus- ja käyttövarmuustarkasteluissa keskeisiä mallintamisen kohteita ovat myös vikaantumis- ja toipumisaajat, joita kuvataan tilastollisilla jakaumilla. Usein vikaantumisväliä mallinnettaessa oletetaan vikataajuuden olevan vakio, jolloin vikaantumisväli noudattaa eksponenttijakaumaa. Korjaus- tai toipumisaikojen kohdalla käytetään yleensä normaalijakaumaa. Tilastollisia jakaumia käsitellään kappaleessa 3.5. Vikaantumis- ja toipumisaikojen jakaumien avulla voidaan simuloida järjestelmän käytettävyyden kehittymistä. Simulointimallin rakentaminen kuitenkin edellyttää monimuotoisten tietojen yhdistämistä, järjestelmän luotettavuusteknisen mallin laatimista sekä toimintojen välisten kytkentöjen ja käyttötilanteen mallintamista. Yksittäiset simulointikierrokset tuottavat järjestelmän vikayhdistelmiä, jotka voisivat tapahtua todellisuudessa. Simuloinnin avulla voidaan tarkastella myös elinjakson eri vaiheiden, kuten varhaisvikaantumisjakson ja loppuunkulumisjakson vaikutusta, mikäli tarvittava data on saatavilla.

## Kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tiedon yhdistäminen

Tilastollisten jakaumien ja jakaumien parametrien estimointi vaatii paljon tietoa. Jos tapahtumatietoa on liian vähän, estimoitu jakauma voi olla väärä tai jakaumaa ei voida estimoida ollenkaan. Puutteellista tai puuttuvaa tietoa voidaan täydentää asiantuntija-arvioilla. Asiantuntija-arvioilla (*expert elicitation*) pyritään tietyn parametrin tai muuttujan keskiarvon tai odotusarvon lisäksi usein määrittelemään myös jakauman parametrit. Koska jakauman parametrien arvioiminen on hyvin vaikeaa kokeneillekin asiantuntijoille, voidaan asiantuntijoita pyytää arvioimaan muuttujan X keskiarvo sekä ylempi ja alempi kvartiili joku lukuina tai histogrammin avulla (Morris ym., 2014). Visuaalinen menetelmä, jonka avulla asiantuntija voi muodostaa haluamansa todennäköisyysjakauman siirtämällä liukupalkkeja, esitellään luvuissa 4.8 ja 4.10.

Perinteiset fysikaaliset mallit ovat erittäin monimutkaisia ja niiden laatiminen vaatii paljon resursseja, tai mallit ovat hyvin pitkälle yksinkertaistettuja, eivätkä siten pysty kuvaamaan kohteen käyttäytymistä riittävällä tarkkuudella. Datapohjaiset sekä ennakoivat menetelmät (*Prognostics and*

*Health Management, PHM*) hyödyntävät hahmontunnistusta ja koneoppista järjestelmän tilan muutokset havaitsemiseen. Laadulliset menetelmät, kuten riski- ja luotettavuusanalyysit, esim. poikkeamatarkastelu (*HAzard and OPerability study, HAZOP*) ja vika-vaikutusanalyysit (*Failure Mode and Effect Analysis, FMEA; Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA*), tuottavat kohteeseen liittyvää laadullista tietoa. Laadulliset tarkastelut auttavat ymmärtämään järjestelmän syy-seurausketjuja, jotka yhdistävät vikaindikaation tai poikkeaman tapatumaketjuun ja mahdollisiin seurauksiin. Tämän avulla käyttäjä voi tehdä ennusteita ilmiön etenemisestä ja tehdä ennakoivia toimia ajoissa. (Kortelainen ym., 2019)

Elinkaaren hallinnan sovelluksissa voidaan käyttää myös semi-kvantitatiivisia menetelmiä. Semi-kvantitatiiviset menetelmät eroavat kvalitatiivisesta menetelmästä numeerisien arviointiasteikkojen käyttämisellä seurausten ja todennäköisyyksien arvioinnissa. Semi-kvantitatiiviset menetelmät ovat kvalitatiivisten ja kvantitatiivisten arviointimenetelmien välimuoto, jossa hyödynnetään molempia tapoja. (SFS-EN 31010, 2019)

## Keskeiset opit

- Datan määrä ei ratkaise, vaan datan laatu ”*garbage in, garbage out*”.
- Suunnittele tiedonkeruu tiedon hyödyntämistä silmällä pitäen.
- Datan huolellinen esikäsittely on usein aikaa vievää, mutta välttämätöntä.
- Tiedon analysoinnin todellinen lisäarvo muodostuu silloin, kun datan avulla pystytään ennustamaan kohteen tulevaa käyttäytymistä ja suorituskkyä, arvioimaan jäljellä olevaa käyttöikää, tunnistamaan järjestelmän heikkouksia ja tukemaan suunnittelua ja päätöksentekoa.
- Numeerista tietoa (dataa) joudutaan usein täydentämään asiantuntija-arvioilla.
- Datapohjaiset ennakoivat menetelmät ovat voimakkaan kehitystyön kohteena.

## 3.4

# TIETOJÄRJESTELMIIN TALLENNETUN TIEDON HYÖDYNTÄMINEN

*Helena Kortelainen ja Toni Ahonen*

### Johdanto

Tiedonkeruu on luonnollisesti lähtökohta tiedon jalostamisessa päätöksenteon tuen välineeksi. Konkreettiset päätöstilanteet ovat hyvin moninaisia ja tilanteesta riippuvia. Tuotantolaitteistoihin liittyvät päätöksentekotilanteet voidaan jaotella kolmeen päätyyppiin (Kunttu ym., 2017):

- operatiivisen tason jokapäiväiseen kunnossapitoon ja käyttöön liittyvät päätökset,
- taktisen tason nykyisten laitteiden ja toimintojen kehittämiseen tähtäävät päätökset sekä
- strategisen tason liiketoiminnan kehittämiseen tähtäävät päätökset.

Edellä mainittuja päätöstilanteita voidaan luonnehtia käytettävissä olevan ajan, tilanteen toistuvuuden, päätöksen merkityksen ja päätöksentekotilanteeseen liittyvien toimintojen tai tehtävien kautta. Operatiivisen tason toimien tavoitteena on saavuttaa laitoksen toiminnalle asetetut tavoitteet, taktisen tason toimien tavoitteena on muuttaa ja kehittää laitoksen toimintoja ja laitteistoja siten, että laitoksen tehokkuudelle ja kannattavuudelle asetettuja tavoitetasoja voidaan nostaa. Strategisilla päätöksillä pyritään kokonaisvaltaisesti kehittämään yritystä siten, että asema markkinoilla vahvistuu esimerkiksi suuremman kapasiteetin tai uusien tuotteiden avulla. Päätöksentekotilanteissa myös vaaditaan erilaista tietoa (Kuva 3.9).

TIME HORIZON Future scenarios		Day-to-day operation		Planning for mid- and long term	
Organisational level	Operational level (on demand)	Operational level (planned)	Tactical / managerial level	Strategic level	Visions
Typical data	On-line sensors and measurements, inspections, production data	Sensor data, event data, inspections	Event data, expert data	Forecasts and expert data, asset history data	Forecasts, scenarios
Typical tasks	Carrying out breakdown maintenance and opportunity-based maintenance	Carrying out planned and scheduled maintenance	Develop production and maintenance strategies, minor modernisation and replacement investments	Strategic decisions e.g. outsourcing, investments in production assets and IT, training & education.	Market strategies, capacity strategies, M&A actions, Greenfield investments.
	Carrying out condition-based maintenance				

Kuva 3.9. Tiedon hyödyntäminen päätöksenteon eri tasoilla (Kortelainen ym., 2014)



Tietojärjestelmiin (ERP, CMMS, EAM ja vastaavat) tallennettu tapahtuma- ja muu tieto hyödyttää erityisesti operatiivisen ja taktisen tason päätöksentekoa. Operatiivisen tason päätöstilanteet liittyvät päivittäisten kunnossapitotehtävien toteuttamiseen ja laitteiston operointiin. Päätöksiä joudutaan tekemään myös tarpeen mukaan (*on demand*) esimerkiksi vika- ja häiriötilanteissa. Näille on tyypillistä, että tilanteisiin on reagoitava nopeasti ja päätösten tekoon käytettävissä oleva aika on suhteellisen lyhyt. Vaikka yksittäisen päätöksen vaikutus yrityksen liiketoiminnan kannalta on harvoin kovin merkittävä, on huomioitava, että yhdessä järjestelmän osassa samankaltaiset tapahtumat voivat toistua yhä uudelleen, ja toistuessaan päätösten oikeellisuudesta tulee liiketoiminnan kannalta merkityksellisiä. Taktisen tason päätökset liittyvät olemassa olevan tuotanto-omaisuuden tai toimintojen kehittämiseen, kuten kunnossapito-ohjelman kehittämiseen ja korvausinvestointien ja modernisointien suunnitteluun.

Datan keruu toimittajan tietojärjestelmään (PDM tai vastaavat) kansainvälisille markkinoille levityvästä laitekannasta (*fleet*) mahdollistaa tietointensiivisten, laitekannan käyttöä ja ylläpitoa tukevien palvelujen kehittämisen. Datan keräämisen lisäksi vaaditaan kuitenkin malleja, menetelmiä ja osaamista datan analysointiin sekä saadun tietämyksen hyödyntämiseen loppukäyttäjän/asiakkaan moninaisten päätöstilanteiden tukena. Teollisen internetin ja pilvipalvelujen myötä digitaalisessa muodossa oleva anturi-, laite- ja prosessitieto saadaan entistä kattavammin tuotantojärjestelmän käytöstä ja kunnossapidosta vastaavien tahojen käyttöön.

## Elinkaaren hallinnan sidosryhmät ja tietoon perustuva toiminta

Tuotteen elinkaaresta, projektitoimituksena toteutetun yksilöiden järjestelmän tai tuotantojärjestelmän ja sen osien elinjaksosta kerättyä tietoa ja tietämystä tallentuu toimijoiden lukuisiin tietojärjestelmiin. Tietämystä kertyy toki myös hiljaisen tiedon ja asiantuntemuksen muodossa. Jotta tiedon kerääminen ja tallentaminen olisi mielekästä, tietoa pitää hyödyntää. Muutamia esimerkkejä kunnossapitoon liittyvän tiedon hyödyntämisestä on koottu seuraavaan taulukkoon. Taulukko 3.3 ei ota kantaa siihen, mihin tai kenen ylläpitämään järjestelmään tietoja kerätään, eikä myöskään siihen, mikä organisaatio tietoa hyödyntää. Hyödyntäjä voi olla kunnossapitopalveluiden tuottaja, oma kunnossapito-organisaatio tai yksittäisen laitteen ylläpidosta vastaava toimija.

*Taulukko 3.3. Esimerkkejä kunnossapitoon liittyvän tiedon hyödyntämisen mahdollisuuksista (Ahonen & Reunanen, 2009)*

Tietotyyppi ja nimike	Tyypillinen hyödyntämistapa
Prosessi- ja olosuhdetiedotdata: Lämpötila, kosteus, ilmanpaine, EMI, EMC, värinäätieto, iskut	Arvioimalla järjestelmän tai laitteen vikaantumiskäyttäytymistä vikaantumista voidaan ennakoida sekä kunnossapidon suunnittelua tehdä olosuhteet ja prosessitilat huomioiden.
Tieto laitteen/koneen käytöstä: Jatkuva, hetkittäinen, varalla/ redundanttisuus, kuormitus, manuaalinen/automaattinen ohjaus	Luotettava ja ajantasainen tieto laitteen käyttötavoista ja sen roolista tuotantojärjestelmässä tuottaa informaatiota kunnossapidon suunnitteluun sekä mm. kehitysinvestointien ja -hankkeiden kohdentamiseen
Vikaantumisen aikatieto: - keskimääräinen vikaantumisväli MTBF, vuosittainen vikamäärä - vian havaitsemisaika - toimintakelvottomuusaika - keskimääräinen toipumisaika (MTTR), aktiivinen korjausaika	Tietoa voidaan hyödyntää mm. seuraavissa kohteissa: - kunnossapitointervallien määrittely tai ylläpitoinvestointien suunnittelu - kunnossapidon työprosessien kehitys, erikoisosaamis-tarpeen määrittäminen - käyttö- ja kunnossapito-organisaation tai kunnossapitopalveluiden toimittajan yhteistyön kehittäminen koskien ilmoittamiskäytäntöjä ja informaation välittämistä.
Varaosien puute, henkilöresurssien puute, testivälineiden puute	Puutetiedot viittaavat toimitusketjun tai varaosavarastojen hallinnan puutteisiin. Monimutkaista teknologiaa sisältävät kohteet edellyttävät usein erityisiä resursseja ja työ- ja testivälineistöä.
Laitteelle tehty kunnossapitotoimet / kunnossapitohistoria / kriittisyysluokka	Yksittäisten tietojen lisäksi kunnossapitohistorian hyödyntäminen mahdollistaa ennakkoinnin: -varaosavaraston hallinta -resurssien hallinta

	-kustannusten sitoutuminen. Laitteen kriittisyysluokka vaikuttaa kunnossapitostrategiaan, kunnossapidon kohdentamiseen ja investointipäätöksentekoon.
Laitteelle kohdistettu kunnossapitostrategia (ehkäisevä/ennakoiva/korjaava). Ehkäisevän kunnossapidon tehokkuus	Ehkäisevän kunnossapidon tehokkuutta voidaan arvioida etukäteen muodostamalla käsitys sekä korjaavan että ehkäisevän kunnossapidon strategioiden kokonaiskustannuksista. Tällöin mukaan luetaan kaikki tehtävien aiheuttamat sekä tuotannon keskeytyksistä aiheutuvat epäkäytettävyysskustannukset. Tuotettua tietoa voidaan hyödyntää valittaessa kohteelle tulevaisuuden kunnossapitostrategiaa sekä kohteita, joihin ehkäisevän kunnossapidon toimia halutaan kohdentaa. Tehdyt päätökset voidaan perustella täysin tai niitä voidaan täsmentää toteutuman avulla.

Eri toimijoilla on erilaisia tuotteen tai järjestelmän käyttövaiheen aikana kerättävään elinkaaritietoon liittyviä tarpeita. Uusien tuotteiden kehittämiseen ja toimittamiseen keskittyvän laitetoimittajan tavoitteena voi olla esimerkiksi suunnitella ja kohdistaa uusmyyntiä elinkaaritiedon pohjalta. Vaikka koko järjestelmän elinikä olisi kymmeniä vuosia, sisältää se kuitenkin osajärjestelmiä tai komponentteja, joiden odotettavissa oleva elinikä on lyhyempi. Näiden uudistamiseen - samoin kuin järjestelmän modernisointiin teknologian kehittyessä - on hyvä varautua jo järjestelmän kehitysvaiheessa. Myös varaosapalveluita, tuotekehitystä ja toimitettujen tuotteiden laatua voidaan kehittää ja suunnata toimitetusta laitekannasta (*fleet*) saatavan tiedon ja asiakaspalautteen avulla. Digitaalisten ratkaisujen avulla laitekantaa voidaan monitoroida ja yksittäisten laitteiden ominaisuuksia ja käyttöä mitata kohteiden sijainnista riippumatta. Digitalisaation (mm. *Industrial Internet*; *Internet of Things*, *IoT*; *Industry 4.0*; *Cyber-Physical-Systems*, *CPS*) myötä digitaalisessa muodossa oleva anturi-, laite- ja prosessitieto voidaan saada nykyistä kattavammin tuotantojärjestelmän käytöstä ja kunnossapidosta vastaavien tahojen käyttöön (Juhanko ym., 2015; Lee ym., 2015).

Elinkaaripalveluiden tarjoajan näkökulmana elinkaaritiedon hyödyntämisessä voi olla esimerkiksi itse palvelutuotteiden kehittäminen ja toteutus, kuten kunnossapitotoiminnan tehostaminen tai varaosavarastojen suunnittelu. Elinkaaritieto voi myös olla tietoon perustuissa palveluissa niiden keskeisin sisältö. Teollisuuden elinkaaripalveluissa fokus on siirtymässä pois vikojen ja niiden vaikutusten minimoinnista kohti laaja-alaisempaa suorituskyvyn optimointia, jossa on huomioitava laitekannan merkitys asiakkaan toimintaan (Kortelainen ym. 2017). Palvelutoimittajien tulee kattaa esimerkiksi lopputuotteen laatuun ja raaka-ainetehokkuuteen, järjestelmän suorituskykyyn, energiakustannuksiin, ympäristöpäästöjen hallintaan, hyötysuhteisiin ja henkilöturvallisuuteen liittyviä näkökohtia (Valkokari ym., 2016). Tällöin on ymmärrettävä myös asiakkaan liiketoimintaan vaikuttavia tekijöitä, esimerkiksi muuttuvan kysyntätilanteen tai lainsäädännön vaikutukset käyttöomaisuudelle tarjottavaan palvelusisältöön. Lisäksi palvelutoimittajan on ymmärrettävä asiakkaan tuotantoympäristöstä johtuvat tekijät, esimerkiksi käyttöolosuhteet (prosessin kuluttavuus, pöly, lämpötila, kosteus, kuormitus), laitteiston kriittisyys ja kunnossapidettavuus.

## Raportointi

Tuotantolaitteiden (*assets*) käyttäjien ja omistajien kiinnostus tyypillisesti kohdistuu oman tuotantoprosessin kehitystehtäviin tai päivittäisen operatiivisen toiminnan päätöksenteon ja toteutuksen kysymyksiin. Yksittäisten kohteiden ja koko järjestelmän elinkaaritieto voi liittyä ongelmakohteiden tunnistamiseen, tuotantoprosessien kehittämiseen korvaus- ja modernisointi-investointien avulla ja häiriötilanteiden ennakoointiin. Tyypillisiä EAM-järjestelmää hyödyntäviä raportteja ja raporttien perusteella käynnistettäviä toimenpiteitä ovat mm. (Hastings, 2015):

**Taulukko 3.4. Esimerkkejä EAM-järjestelmän raporteista (Hastings, 2015)**

Raportti	Tyypillinen hyödyntämistapa
Tuotantolaitteiden tunnistaminen, sijainti ja arvo	
Kertyneet kustannukset (suhteessa budjetoituun) laitepaikoittain, laitetyypeittäin tai kohteiden sijainnin mukaan jaoteltuna.	raportti auttaa budjetin hallinnassa ja resurssien käytön suunnittelussa
Tuotannonmenetysraportit ( <i>Operational loss reports</i> )	Tarkista tuotannonmenetysten syyt, seuraa suorituskykyä ja käyttövarmuutta parantavia toimenpiteitä
Suunnittelemattomat työmääräykset ( <i>Unscheduled work orders</i> )	Tarkista suunnittelemattomien töiden syyt, seuraa suorituskykyä ja käyttövarmuutta parantavia toimenpiteitä Tarkista historiatiedoista, onko kyse toistuvasta suunnittelemattomasta työstä. Jos on, ryhdy parantaviin toimiin. Hyödynnä Pareto-analyysia Tarkista mahdollinen toimintakelvottomuus (down time) ja pyri lyhentämään seisokkiaikaa esim. hyödyntämällä korjauskittejä, parempaa diagnostiikkaa, koulutusta, varaosia ja tukea laitteen käyttövarmuuden parantamiseksi Päivitä työohjeet ja työhön liittyvät vaatimukset Tarkista laitteen tai komponentin tarkistus- ja vaihtovälit
Tehtyjen työtuntien määrä per osaamisalue, per laite, per toimintopaikka	Tämä raportti helpottaa henkilöstön allokoinnissa eri kohteisiin ja henkilöstön osaamisvaatimusten hallinnassa
Kunnossapitokustannukset laitekohtaisesti tai käyttövuotta kohden	Tämä raportti muodostaa perustan laitteiden uusintainvestointien suunnitteluun
Varaosien kulutus varaosanimikettä kohden	Tämä raportti muodostaa perustan varaosavaraston nimikkeiden varastotasojen suunnitteluun ja tilaamiseen. Käytä kulutusta ennustavaa mallia varastotasojen suunnitteluun ja tilausten automatisoimiseen.
Vikataajuus per vikamuoto ja käyttövuosi	Tämä raportti muodostaa perustan komponenttien optimaalisen vaihtovälin ja tarkastusten ( <i>inspection policies</i> ) suunnitteluun.

## Tunnusluvut ja suorituskyvyn mittaaminen

Jotta kunnossapitoa tai muita elinjakson hallinnan tehtäviä voidaan kehittää, on toiminnan tehokkuutta ja suorituskykyä pystyttävä mittaamaan ja mittasuureiden laskennan pohjaksi tarvitaan luotettavaa dataa. EAM-järjestelmät ovatkin tässä avainasemassa. Toiminnan kehittämiseen liittyviä mittareita voidaan tarkastella suorituskykyyn liittyvien tunnuslukujen (*KPI; Key Performance Indicator*) kautta ja näiden tunnuslukujen laskemiseen vaaditaan järjestelmän toiminnasta kerättyä ajantasaista ja luotettavaa tietoa. Kunnossapidon suorituskyvyn ja tehokkuuden tunnuslukuja on esitetty mm. standardessa PSK 7501 (2010) ja SFS-EN 15341 (2019). EN-standardi tarjoaa myös hyvin käytännönläheisen tavan eri tunnuslukujen laskemiseen tietojärjestelmistä saatavia tietoja hyödyntämällä. Näitä laskentamalleja hyödyntäen on esimerkkiaineistosta (Kuva 3.5) laskettu muutamia havainnollistavia tunnuslukuja kahdelle tuotantolinjalle.

**Taulukko 3.5. Esimerkkejä EN 15341 standardin mukaan lasketuista suorituskykyyn liittyvistä tunnusluvista esimerkkiaineiston (Kortelainen, 2019) pohjalta**

Suorituskykyindikaattori (KPI)	EN 15341 KPI koodi	North Line	South Line
Tuotantolinjan toteutunut kunnossapidollinen käytettävyyden Ooperational availability due maintenance), %	PHA8	95,7	97,2
Suunniteltuun käyntiaikaan perustuva käytettävyyden (Availability based on operating time), %	M11	97,3	97,9
Keskimääräinen vikaantumisväli (MTBF), hours	M5	256	309
Keskimääräinen toipumisaika (MTTR), hours	O&S16	7,2	6,7
Korjaavasta kunnossapidosta johtuva toimintakelvottomuus aika (Downtime due to corrective maintenance), %	E9	58,9	56,7
Jaksotetusta kunnossapidosta johtuvat toimintakelvottomuus aika (Downtime due to predetermined maintenance), %	E11	41,1	43,3

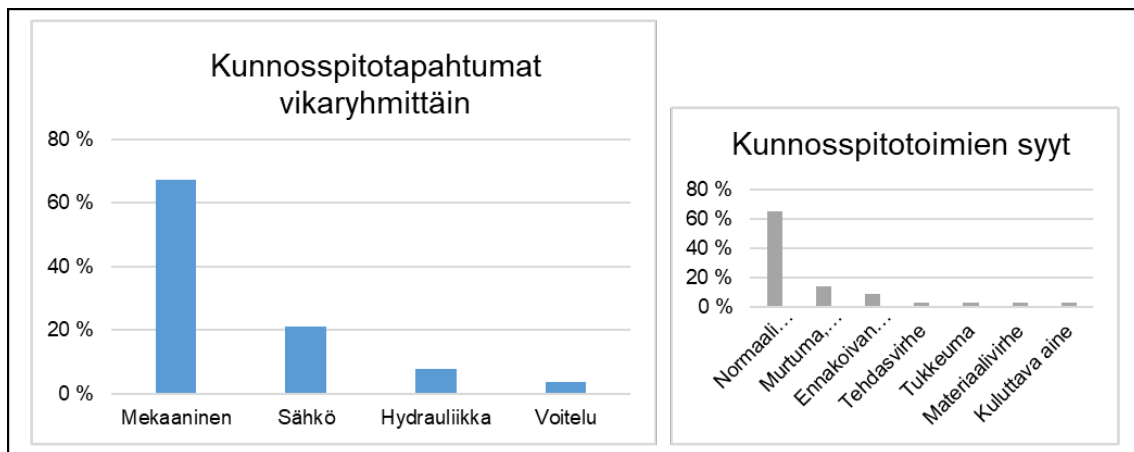
Taulukon (Taulukko 3.5) tunnuslukujen käsitteet ja laskentakaavat on kuvattu tarkemmin Osassa 5 Termit ja lyhenteet. Yllä olevan taulukon perusteella voidaan vertailla kahta linjaa keskenään. Eteläisen linjan (South line) käyttövarmuus vaikuttaisi paremmalta: vikaantumisväli (MTBF) on pidempi ja korjaavan kunnossapidon osuus kaikista kunnossapitotöistä on pienempi kuin toisella linjalla, josta syystä myös toiminnallinen käytettävyyden on korkeampi. Keskenään identtisillä tuotantolinjoilla käsitellään erilaista raaka-ainetta ja pohjoinen linja (North line) näyttäisi joutuvan kovemman rasituksen kohteeksi. Isompi rasitus on huomioitu kunnossapidon suunnittelussa ja pohjoiselle linjalle tehdään tunteina mitattuna enemmän jaksotettua kunnossapitoa. Koska pohjoislinjan vaadittu käyntiaika (*required operating time*) on lyhyempi kuin etelälinjalla, linjojen suunniteltuun käyntiaikaan perustuvat käytettävyydet poikkeavat toisistaan vain vähän. Toteutunut kunnossapidollinen käytettävyyden huomioi sekä korjaavan että aikataulutetun kunnossapidon, joten tässä käytettävyyden tunnusluvussa kahden linjan välinen ero suorituskyvyssä on ilmeinen.

Suorituskyvyn mittaamisessa ja mittareissa on omat haasteensa. Esimerkkiaineistossa jaksotetun kunnossapidon eli suunniteltujen seisokkien (Regular maintenance) aikana tehtiin ennakoivia kunnossapidon töitä (*scheduled maintenance*) sekä aikaan (*time-based maintenance*), kuntoon perustuvia tehtäviä (*condition-based maintenance*) tehtäviä sekä vikakorjauksia (*corrective maintenance*), eikä töiden erottelu järjestelmään kirjattujen tietojen pohjalta ole mahdollista. Yksittäisiin kunnossapitotehtäviin käytettyä aikaa ei ole kirjattu, joten voidaan tarkastella vain keskimääräisiä toipumisaikoja, jotka siis voivat liittyä yhteen tai useampaa ko aikana suoritettuun tehtävään. Oma haasteensa mittareita laskettaessa muodostuu myös siitä, että sama juurisyy voi aiheuttaa useamman korjaustyön, sekä kunnossapidon aikana tapahtuneista virheistä johtuvien töiden (ja toimintakelvottomuusajan) käsittely mittareita laskettaessa.

## Pareto-analyysi

Pareto-periaatteen mukaan monissa ilmiöissä tai tarkastelukohteissa 20% syistä aiheuttaa 80 % seurauksista, josta syystä usein puhutaan myös 20:80-säännöstä. Kunnossapitoon sovellettu sääntö tarkoittaa sitä, että muutama laite tai vikamuoto aiheuttavat suuren osan havaituista vikaantumisista. Koska Pareto-analyysi edellyttää tapahtumatietoa, se soveltuu parhaiten toiminnassa olevan järjestelmän arvioimiseen.

Pareto-analyysi on hyvin yksinkertainen toteuttaa, ja sen avulla saadaan selkeä ja helppolukuinen kaavio. Kaaviossa tarkasteltavat kohteet (esim. vikamuodot tai laitteet) sijoitetaan valitun kriteerin (esim. kustannukset, vikataajuus) mukaisesti suuruusjärjestykseen. Kunnossapidon aineistoissa Pareto-periaate harvoin sellaisenaan toteutuu. Eri muuttujien suhteen laaditut pylväsdiagrammit ovat kuitenkin havainnollisuudessaan hyödyllisiä ja voivat auttaa määrittämään ne kohteet, joihin kehittämistoimia kannattaa keskittää.

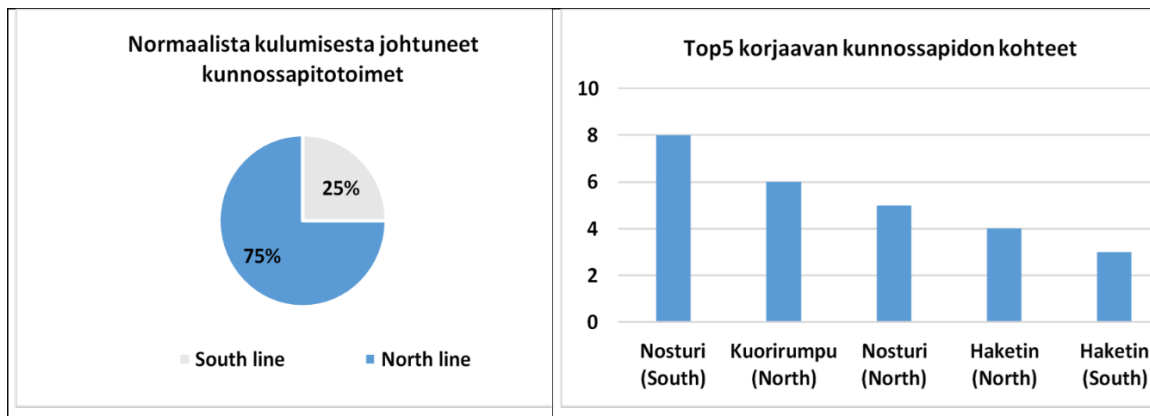


Kuva 3.10. Esimerkkiaineiston Pareto -kuvaaja

Pylväsdiagrammit (Kuva 3.10) havainnollistavat hyvin, mitkä tekijöistä ovat merkittäviä. Esimerkkiaineistossa on neljä vikaryhmää, ja merkittävin osa (noin 70%) kunnossapitotapahtumista on luokiteltu mekaanisen kunnossapidon tehtäviksi. Kun tarkastellaan tätä ryhmää tarkemmin, ilmenee, että suurin osa (noin 65%) korjaustoimista johtuu normaalista kulumisesta.

## Tiedon hyödyntäminen kentällä

Kunnossapitohistoriaan kirjattuja tietoja tarvitaan kunnossapidon suunnittelun ja suorituskyvyn mittaamisen lisäksi myös vikatapauksien selvittelyssä, juurisyysanalyysissä (*Root cause analysis, RCA*) ja toistuvien vikaantumisten havaitsemiseen. Laadukkaan historiatiedon pohjalta voidaan myös hiljaista tietoa siirtää tekijältä toiselle.



Kuva 3.11. Esimerkkiaineiston pohjalta laadittuja kuvaajia. Vasemmalla normaalista kulumisesta johtuneet kunnossapitotyöt kahdella rinnakkaisella tuotantolinjalla. Oikealla Top5 lista kohteista, joille on tehty lukumääräisesti eniten korjaavan kunnossapidon toimia.

Kuva 3.10 osoittaa selkeästi kahden tuotantolinjan erilaisen kuluttavuuden: 75% kaikista normaalisti kulumiseksi luokitelluista vikakorjauksista tehdään pohjoisella linjalla. Datan tarkempi analyysi auttaa kohdentamaan tarkastelut tämän linjan laitteisiin, jolloin päästään harkitsemaan tapahtumatiedon pohjalta esimerkiksi materiaaleille asetettavia vaatimuksia varaosahankintojen tai uusinainvestoinnin kohdalla.

Top5 kuvaaja puolestaan kertoo, että eniten korjaavan kunnossapidon toimia on tehty nostureille, erityisesti etelälinjan nosturissa on ollut useita vikaantumisia. Kuten kuvasta (Kuva 3.11) ilmenee, nosturi on vikaantunut 8 kertaa ko. tiedonkeruujaksolla. Useimmat vioista ovat aiheuttaneet tuotannon menetystä pysäyttämällä koko linjan toiminnan. vikaantumisen syyt vaihtelevat, vikaraportteista voidaan havaita vikojen keskittyvän tiettyihin laitteen osiin tai komponentteihin. Vikaraport-

tien avulla voidaan ymmärtää entistä paremmin vikaantumisen mekanismeja ja syy-seuraus -suh- teita. Käyttäjän on helppo seurata myös esimerkiksi tyypillisten vikaryhmien jakaumaa raporteista (Kuva 3.11) ja verrata esimerkiksi eri käyttöympäristöissä toimivia tai eri komponentteja sisältäviä laitteita keskenään. Kun dataa on saatavilla enemmän, tunnistetaan tyypilliset vikaantumisen syyt ja erityisen usein vikaantuvat kohteet, jolloin perusteltu kunnossapito-ohjelman päivitys tai kom- ponenttien uudelleensuunnittelu on mahdollista.

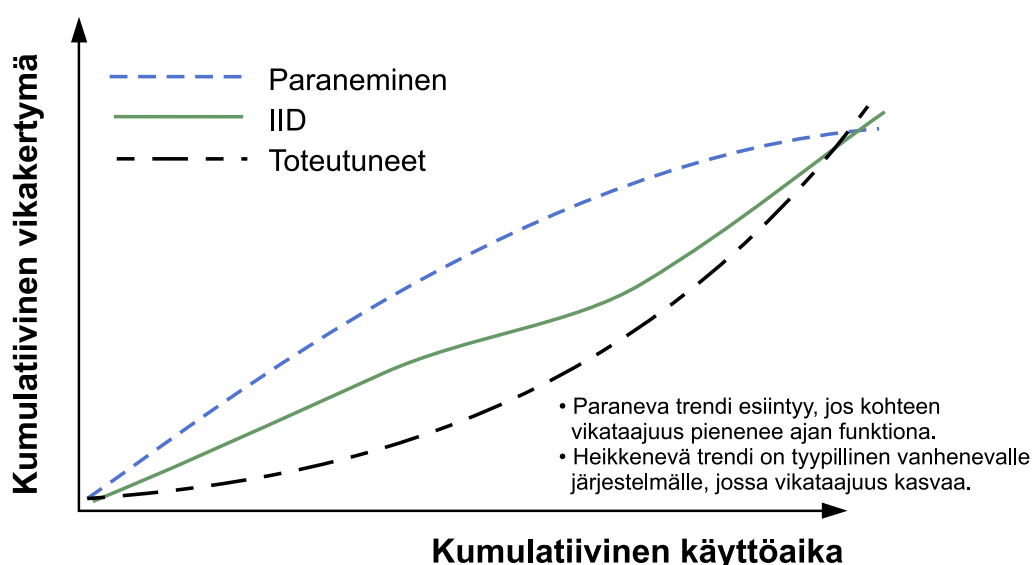


Kuva 3.12. Tietojen yhdistäminen kunnossapitotehtävien tueksi

Tapahtumahistoria muodostaa vain yhden, mutta huomattavan tärkeän ryhmän kentällä tapahtu- vaa toimintaa tukevasta tiedosta. Jotta tietojen hyödyntäminen kentällä olisi mahdollista, tiedot on oltava helposti saatavilla, tietojen pitää olla kattavia ja koska tietoa on paljon - tiedon hakemisen erilaisten hakutoimintojen avulla pitää olla mahdollista.

## Vikakertymäkuvaajat

Käyttökelpoinen työväline pitkältä ajalta kerätyn aineiston analysointiin on vikakertymäkuvaaja (Nelson-Aalen diagrammi). Kuvaajaa varten datapisteet järjestetään tapahtuma-ajan mukaiseen jär- jestykseen ja piste-parit piirretään koordinaatistoon, jossa vaaka-akseli kuvaa aikaa ja pystyakseli kertyneiden vikaantumisten lukumäärää (Kuva 3.13). Kuvaajan avulla voidaan päätellä, onko tar- kasteltavan järjestelmän vikataajuus kasvava, vakio vai pienevä.



Kuva 3.13. Trendin testaaminen (Bohoris 1996)

Vikakertymäkuvaajassa voidaan siis havaita trendi – systemaattinen muutos – joka indikoi järjestelmän systemaattisesti paranevan (vikataajuus pienenee) tai heikkenevän (vikataajuus kasvaa ajan funktiona). Mikäli trendiä ei havaita, järjestelmän vikataajuus pysyy tilastollisesti katsottuna vakiona. IID (*Independent and Identically Distributed*) kuvaa järjestelmää, jonka vikahavainnot noudattavat samaa tilastollista jakautumaa ja ovat toisistaan riippumattomia (Bohoris, 1996). Tilastollisesti vakiona pysyvä vikataajuus tarkoittaa, että vikaväli ei systemaattisesti kasva tai vähene, mutta vaihtelee tietyn tilastollisen jakauman mukaisesti.

Usein jo pelkkä graafisessa tarkastelussa piirretty vikakertymäkuvaaja paljastaa olemassa olevan trendin tai trendittömyyden. Jos merkittävää trendiä ei havaita, voidaan havaintoaineistosta estimoida vikataajuusfunktio käyttäen tilastollisiin jakaumiin pohjautuvia malleja. Jos graafisen tarkastelun perusteella ei voida olla riittävän varmoja trendin olemassaolosta, voidaan arvioinnin (trendi/ei trendiä) helpottamiseksi käyttää tilastollisia testejä. Testejä on useita ja datan erityispiirteistä riippuen tietty testi toimii paremmin kuin toiset. Eräs monotonisen trendin tunnistamiseen sopiva trenditesti on Laplacen testi, jossa testisuureiden avulla voidaan testata nollahypoteesia ”ei trendiä” (Bergman 1998).

EAM-järjestelmään kirjatuihin tiedoista ei aina voida päätellä, onko kunnossapitotapahtuman syytä vika ja vian korjaaminen. Myös ennakoiva kunnossapito voi edellyttää seisokkia, joten tuotantoaikaa menetetään sekä suunnittelemattomien että suunniteltujen seisokkien takia. Tästäkin syystä vikakertymäkuvaajien sijasta voi olla hyödyllistä tarkastella kunnossapitotapahtumien kertymäkuvaajaa, josta esimerkkinä Kuva 3.14.

Usein teollisuuden kohteissa kerätystä datasta muodostetuissa kertymäkuvaajassa havaitaan tapahtumaryppäitä, josta esimerkkejä alla olevassa kuvassa (Kuva 3.14). Tyypillisiä syitä tällaisille kertymille voivat olla esim.:

- Korjaus kohdistuu vian seurauksiin, eikä itse vikaan, jolloin vika toistuu. Ongelma poistuu vasta, kun todellinen vian syy on löydetty ja korjattu.
- Tehdään väliaikainen korjaus, jotta kone saadaan mahdollisimman nopeasti käyntiin ja varsinainen korjaustyö päätetään tehdä myöhemmin
- Väärin tai puutteellisesti suoritettu kunnossapito
- Hetkellinen normaalia intensiivisempi järjestelmän tarkkailu tai ylläpito
- Uuden järjestelmän käyttöönoton jälkeen usein esiintyvä varhaisvikaantumisen kausi eli ”lastentautijakso”. Vastaavaa vikataajuuden nousua havaitaan usein myös laajan seisokin tai muutostyön jälkeen.

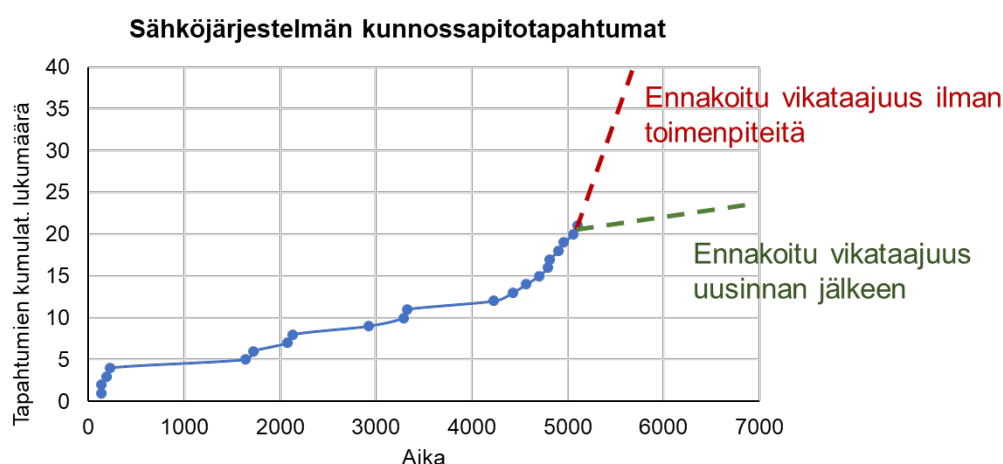


Kuva 3.14. Esimerkkiaineiston tarkastelu kertymäkuvaajan avulla. Havaitut tapahtumat ovat sekä vikoja että aikataulutetun kunnossapidon toimia

Mikäli kirjaukset olisivat riittävän yksityiskohtaisia ja kertymäkuvaajia käytettäisiin systemaattisesti hyväksi, toisi kuvaajan seuraaminen nopeasti esille ”liian usein toistuvat” viat ja muut tapahtumat (esim. huoltotoimenpiteet). Tällöin korjaavat toimenpiteet voitaisiin nopeammin ohjata todellisen vian tai ongelman aiheuttajan korjaamiseen tai kunnossapidon laadun kehittämiseen. Kuvaajassa (Kuva 3.14) näkyvissä oleva ”lastentautivaihe” johtuu tiedonkeruun ja uuden sovelluksen käyttöönoton haasteista, ja yhdellä kertaa on kirjattu isompi määrä tapahtumia. Systemaattinen tapahtumakuvausten ja kirjausten tekeminen juurtuu osaksi työprosessia vasta ajan kuluessa.

## Ennakointi ja mallintaminen

EAM-järjestelmään kertyvä historiatieto on arvokasta myös, kun arvioidaan investointitarpeita ja muita parannustoimia. Erityisesti, jos kyse on jo pitkään käytössä olleen järjestelmän kehittämisestä, voidaan laskelmissa tukeutua EAM-järjestelmästä saatavaan dataan. Kuva 3.15 havainnollistaa EAM-järjestelmään kertyneen tiedon hyödyntämisestä kahden skenaarion avulla. Esimerkkinä oleva järjestelmän vikataajuuden trendi on selkeästi kasvava ja järjestelmä on loppuunkulumisvaiheessa. Toisessa skenaariossa mitään toimia ei tehdä ja vikataajuus jatkaa kasvuaan, toisessa skenaariossa vanhentunut järjestelmä korvataan uudella vastaavalla. Tässä tapauksessa uuden järjestelmän vikataajuuden oletetaan asettuvan samalle vakiovikataajuuden tasolle, jolla käytössä oleva järjestelmä on ollut. Mikäli käytössä olevan järjestelmän kunnossapitokustannukset ja vikaantumisen aiheuttaman tuotannon menetyksen arvo tunnetaan, voidaan vaihtoehtoisten skenaarioiden kustannukset laskea. Investoinnin takaisinmaksuaikaan vaikuttaa tällöin kunnossapitokustannusten vähentyminen ja se, että tuotantoaikaa saadaan lisää vikojen aiheuttamien seisokkien vähentyessä.



Kuva 3.15. Kunnossapitotiedon tietojärjestelmän tapahtumatiedon hyödyntäminen järjestelmän uudistamisen kannattavuuden arvioinnissa (Kortelainen ym., 2019)

Investointien osalta katse on tulevassa ja investoinnin kannattavuuden arvioinnissa joudutaan yhdistämään EAM-järjestelmästä saatavaa tietoa ja muista tietolähteistä saatavaan tietoon. Investointeihin liittyvät päätökset ovat usein huomattavasti kuvan (Kuva 3.15) kaltaista selkeää korvausinvestointia monimutkaisempia. Investointitarpeita on yleensä paljon, ja investointikohteita joudutaan priorisoimaan. Laadukas tieto järjestelmän koneiden ja laitteiden kunnosta ja luotettavat arviot niiden jäljellä olevasta käyttöiästä ovat avainasemassa. Investointiehdotuksia on tarkasteltava monesta näkökulmasta ja hyödynnettävä teknisten analyysien lisäksi riskien tunnistamisen menetelmiä ja strategisia tarkasteluja, joten sovellettavat menetelmät ovat usein luonteeltaan semi-kvantitatiivisia (Räikkönen ym., 2020a).

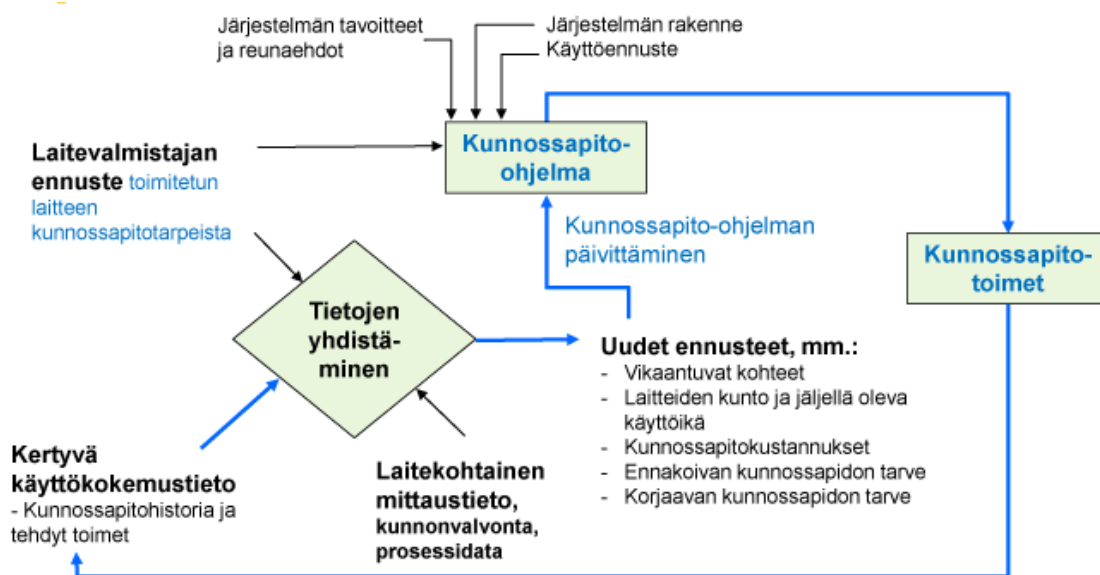
Menetelmiä investointien arviointiin on esitelty tarkemmin Osassa 2 ja esimerkkejä Osassa 4.



## Kunnossapito-ohjelman kehittäminen tietoja yhdistämällä ja tietoa rikastaen

Järjestelmästä kerätyn vikatilastoinnin analysoinnilla voidaan osoittaa tiettyjen vikamuotojen esiintymistajuuus. Käytettävissä oleva, esimerkiksi EAM-järjestelmään tallennettu historiatieto eli tapahtuma-aineisto harvoin kuitenkaan kattaa kaikkia vikamuotoja, tai tapahtumia on vähän. Järjestelmän vikamuotojen kriittisyyden arviointiin tarvitaankin usein tallennetun vikatiedon lisäksi asiantuntija-arvioita. Kriittisyyden arvioinnin menetelmiä on kuvattu Luvussa 2.5.

Aiemmat kokemukset vastaavanlaisista järjestelmistä voivat toimia hyvin lähtökohtana kunnossapito-ohjelman määrittämiselle. Varsinaista ”omaa” järjestelmää koskevaa käyttökokemustietoa tulee käyttää tämän alkuperäisen tiedon päivittämiseen. esittelee Kehittyvän kunnossapidon suunnittelu-menetelmän kaavio (Kuva 3.16) havainnollistaa eri tietolähteiden hyödyntämistä kunnossapito-ohjelman jatkuvan kehittämisen tukena.



Kuva 3.16. Eri lähteistä tietoja yhdistävä kunnossapidon suunnittelu

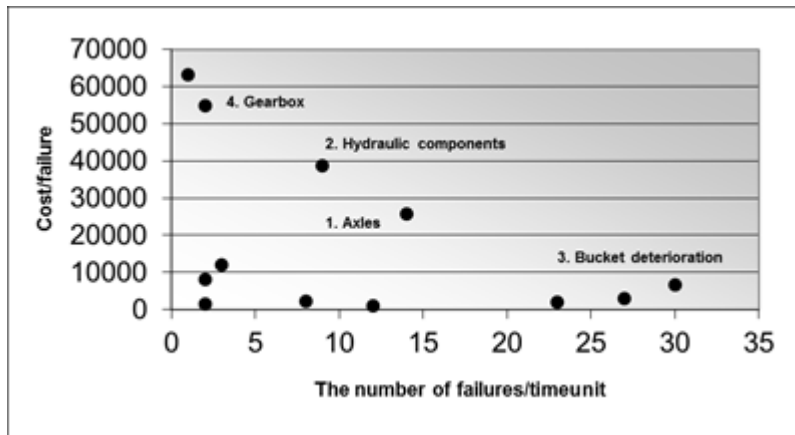
Vikakirjaukset ovat usein vapaassa muodossa ja luokittelua vikatyypin, position tai järjestelmän prosessi- tai laitehierarkian mukaan ei ole tehty, tai se on tehty puutteellisesti. Laadukkaat kirjaukset helpottavat tiedon analysointia ja mahdollistavat luotettavat tulokset. Kehittyvän kunnossapidon suunnittelumenetelmä edellyttää nimenomaan asianmukaisen käyttökokemustiedon soveltamista.

Kaiken saatavilla olevan informaation muuttaminen yleispäteväksi matemaattiseksi algoritmiksi on hankalaa, ja usein sen tavoittelemisen ei ole tarkoituksenmukaista. Päätöksentekomallin tulisi olla aina sovelluskohtainen. Kunnossapidon historiatietoon, mittaustietoon, järjestelmän käyttöön ja käyttäjien asiantuntijatietoon pohjautuva suunnittelu (Kuva 3.16) voi toteutua usein hyvin käytännönläheisellä tavalla ja eri tietolähteiden ja asiantuntijoiden yhteistyöllä. Usein ns. hiljaisen tiedon hyödyntämisen tehostaminen ja liittäminen esimerkiksi kirjatun käyttökokemustiedon käsittelyyn on kannattavaa. Tämä toteuttaa suuren osan Kuva 3.16 mallin perimmäisestä ajatuksesta.

### Vikadata laitevalmistajan tuotekehityksen tukena

Laitevalmistajalla on usein halu kerätä vika-aineistoa asennetusta laitekannasta kentältä tai laitoksilta tuotekehityksen tueksi. Tällöin on mahdollista saada hyvinkin laaja aineisto, josta johtopäätösten tekeminen kunnossapidon kehitys- tai seurantakohteiden valitsemiseksi toimitettavaa järjestelmää tai osajärjestelmää koskien on luotettavampaa kuin yksittäisen laitoksen tuottaman suppean aineiston perusteella. Eri tuotantolaitosten järjestelmäkokoonten sekä menettelytavat jär-

jestelmän kunnossapidon ja vika- ja kunnossapitotietojen keräämisen vaihtelevat. Yleisesti on odotettavissa, että kaikkia vikatapahtumia ei ensinkään tilastoida. Tarkastelu voidaan rajata joka tapauksessa merkittäviin vikaantumisiin ja kohteisiin. Onkin todennäköistä, että merkittävistä vikatapahtumista on saatavissa jokseenkin asianmukaiset kirjaukset. Tosin pienemmät toistuvat tapahtumat saattavat jäädä huomioimatta. Pienempienkin häiriöiden merkitys voi olla huomattava, jos niiden määrä on suuri.



Kuva 3.17. Esimerkki laitevalmistajan vikatietojen analysoinnista (Ahonen, 2005)

Yllä oleva kuva (Kuva 3.17) havainnollistaa esimerkin avulla kriittisyyden arviointia. Kuvassa järjestelmän eri osien vikaantumisen aiheuttamat kustannukset on esitetty vikataajuuden funktiona. Vikataajuus eli vikojen lukumäärä aikayksikössä perustuu kirjattuihin tapahtumiin. Vikaantumisen aiheuttamia kustannuksia ei ole kuitenkaan järjestelmiin kirjattu, joten ne on jouduttu yhdessä asiantuntijoiden kanssa arvioimaan. Kohteen kriittisyys voi johtua yksittäisen vikatapahtuman (esim. Gearbox, vaihdelaatikko) aiheuttamista korkeista kustannuksista, mutta myös korkeasta vikataajuudesta (esim. Bucket deterioration, tartuntalaitteen kuluminen). Jälkimmäisessä tapauksessa ongelma voidaan saada hallintaan esimerkiksi kehittämällä parannuksia huolto-ohjelmaan tai uudelleen suunnittelemalla ja korvaamalla usein vikaantuva kohde. Niukkojen historiatietojen ja varsinkin harvinaisten vikatapahtumien yhteydessä tapahtumistietoihin perustuva kriittisyysanalyysi voi olla epätäydellinen ja edustavampi arviointi viittaa FMECA-analyysin sisällyttämiseen.

Luotettavuusjohtamiseen liittyy kiinteästi myös käsite FRACAS (*Failure reporting, analysis and corrective action system, FRACAS*). FRACAS on prosessi, jonka tavoitteena on saada kentältä kerätty palautetieto laitevalmistajan tuotekehitys- ja suunnitteluorganisaation käyttöön. FRACAS-toimintamalli on ensimmäisen kerran kuvattu USA:n armeijan käsikirjassa (MIL-HDBK-2155, 1995). FRACAS-prosessia noudattaen muodostuu suljettu silmukka (*closed loop*), jossa sekä laitteissa esiintyvät viat että ohjelmistovirheet raportoidaan tiettyjen sääntöjen mukaan, viat ja virheet analysoidaan ja lisäksi suunnitellaan korjaavat toimenpiteet.

## Dataan perustuvat elinkaaren hallinnan palvelut

Datan keruu kansainvälisille markkinoille levittyvästä laitekannasta (*fleet*) mahdollistaa tietointensiivisten, laitekannan käyttöä ja ylläpitoa tukevien palvelujen kehittämisen. Datan keräämisen lisäksi vaaditaan kuitenkin malleja, menetelmiä ja osaamista datan analysointiin sekä saadun tietämyksen hyödyntämiseen loppukäyttäjän/asiakkaan moninaisten päätöstilanteiden tukena. Kuten Kuva 3.1 havainnollistaa kunnonvalvontaan liittyvän esimerkin avulla, tietokantoihin kerätty raakadata ei sellaisenaan ole vielä kovin käyttökelpoista, mutta dataa jalostamalla ja rikastamalla sen arvo käyttäjälle nousee. Kunttu yms. (2016) havainnollistaa tietoon perustuvien palveluiden sisältöä DIKW-mallin avulla (Taulukko 3.6).

*Taulukko 3.6. Tietointensiivisten palveluiden kehittäminen tietoa keräten, jalostaen ja rikastaen (Kunttu ym., 2017)*

Palvelun tietointensiivisyys	Kuvaus
Data palveluna ( <i>Data as a service</i> )	Datan kerääminen ja tallentaminen on perustason palvelu, joka tarjoaa välineet relevanttien mittaustietojen keräämiseen, siirtämiseen ja tallentamiseen. Uusissa laitteissa tiedonkeruun mahdollisuudet ovat jo olemassa, eikä sitä välttämättä edes ajatella palveluna.
Informaatio palveluna ( <i>Information as a service</i> )	Informaatiota syntyy, kun kerätystä raakadatasta tuotetaan erilaisia visualisointeja ja laskettuja tunnuslukuja. Palvelun voi toteuttaa joko tarjoamalla asiakkaalle helpokäyttöiset analysointivälineet, joilla asiakas itse tekee tarvitsemansa raportit, tai palveluntarjoaja tuottaa asiakkaalle valmiit raportit. Valmiiden raporttien tuottaminen edellyttää, että palveluntarjoajalla on pääsy asiakkaalta kerättyyn dataan.
Tietämys palveluna ( <i>Knowledge as a service</i> )	Tietämys palveluna edellyttää laajempaa käsitystä asiakkaan tarpeista ja parempia valmiuksia analysoida aineistoa, tulkita tuloksia asiakkaan näkökulmasta sekä tunnistaa muutostarpeita.
Viisaus palveluna ( <i>Wisdom as a service</i> )	Merkittäviin päätöstilanteisiin liittyy usein erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, joiden etuja ja haittoja palvelun tarjoaja puntaroi. Ns. kovaa dataa ei välttämättä ole tarpeen kerätä enempää kuin muillakaan palvelutasoilla. Hyvin syvälinen käsitys asiakkaan liiketoiminnasta ja tarpeista on edellytys, jotta palveluntarjoaja pystyy tuottamaan niin pitkälle jalostettua tietoa, että se sellaisenaan ilman asiakkaan lisätyötä hyödynnettävissä päätöksenteossa. Tällaisen tiedon tuottaminen on mahdollista vain, jos asiakas ja palveluntarjoaja tekevät keskenään hyvin kiinteää yhteistyötä.

Edellä kuvatuista palvelutasoista datan ja informaation tuottaminen ovat pääosin toteutettavissa soveltuvien teknisten ratkaisujen edellyttäen kuitenkin ymmärryksen siitä, millaista dataa kannattaa kerätä ja millainen informaatio on asiakkaalle hyödyllistä (Valkokari ym. 2011). Nämä palvelutasot eivät välttämättä edellytä palveluntarjoajalta analysointiosaamista tai asiakkaan tuotantjärjestelmän tai liiketoiminnan tuntemusta. Sen sijaan vaativimpien palveluiden tuottaminen, esimerkiksi asiakkaalle optimaalisten hälytysrajojen määrittäminen tai vaihtoehtoisten toimintatapojen vertailu, edellyttää kykyä jalostaa kerättyä tietoa sekä yhdistää data-analyysin tuottama tietämys asiakkaan liiketoiminnan tarpeisiin. Datan arvon lisääminen palvelutasoa nostamalla informaation tarjoajasta tietämyksen tarjoamiseen on selkeästi suurin porras kiivettäessä DIKW-hierarkian portaita ylöspäin.

Laitekannan tuottama tieto voi olla hyvin monimuotoista kunnossapitoon liittyvistä EAM- tai PLM-järjestelmän merkinnöistä laitteisiin asennetuista antureista saatavaan online-dataan. Senso-reilta kerättävän jatkuvan datavirrran analyysi koostuu tarkistuksesta, muunnoksesta, ja mallintamisesta. Tavoitteena on saada hyödyllistä informaatiota, ehdottaa johtopäätöksiä ja tukea päätöksentekoa. Laitekannasta kerätyn tiedon analysoinnissa korostuu asiantuntijoiden välinen yhteistyö, jota vaaditaan mallinnuksessa ja algoritmien kehittämisessä. (Backman ym., 2016).

Jokaista tuotantjärjestelmän komponenttia ei ole järkevää eikä kustannustehokasta anturoida ja monitoroida. Yksi keino kerätä kohdennettua tietoa ja näin lisätä laitevalmistajan ymmärrystä toimittamansa laajan laitekannan merkityksestä asiakkaiden tuotantjärjestelmissä on kriittisyysanalyysit, jotka voidaan toteuttaa esimerkiksi noudattamalla PSK 6800 (2008) standardin esittämää mallia. Analyysi on hyödyllistä tehdä yhteistyössä asiakkaan kanssa analyysitulosten läpinäkyvyyden varmistamiseksi. Tällä tavoin myös asiakas osallistuu palveluratkaisun kannattavuuden tunnistamiseen. Samalla pystytään määrittämään paremmin asiakaskohtainen palveluratkaisukokonaisuus, joilla vastataan asiakkaiden tuotantprosessien optimointitarpeeseen. (Valkokari ym., 2016)

## Keskeiset opit

- Päätöksentekotilanteiden aikajänne vaihtelee, tietoa hyödynnetään päivittäisen toiminnan tukena, lyhyen ja keskipitkän aikavälin suunnittelun tukena ja strategisen päätöksenteon tukena. Vaihtelevat päätöksentekotilanteet ja päätöksentekotilanteen toistuvuus määrittelevät myös sen, mitä dataa tarvitaan ja miten dataa kannattaa kerätä.
- Tietoa tuottavat ja tarvitsevat lukuisat sidosryhmät niin tuotekehityksessä (laitevalmistajat), suunnittelussa (laitevalmistajat, järjestelmätoimittajat, suunnittelutoimistot, loppukäyttäjät) kuin käyttövaiheessakin (loppukäyttäjät, palveluiden toimittajat ja muut yhteistyökumppanit), joten avoin yhteistyö hyödyttää kaikkia osapuolia.
- Datalla voidaan seurata suorituskyvyn kehittymistä, laskea tunnuslukuja ja suorituskykyindikaattoreita, tukea kentällä toimivaa kunnossapitohenkilöstöä, sekä kunnossapidon suunnittelua.
- Ennakointi ja mallintaminen hyvinkin yksinkertaisin keinoin kuten vikakertymäkuvaajien avulla auttaa tulevien kehitystoimien suunnittelussa.
- Laitetoimittajalle käyttökokemustieto on tärkeä palaute tuotekehitykseen ja suunnitteluun, mutta myös elinkaaripalveluiden kehittämiseen.

## 3.5

# STOKASTISET JA SIMULOINTIMALLIT LUOTETTAVUUSTIEDON HALLINNASSA

*Jouko Laitinen*

## Johdanto

Järjestelmistä ja laitteista kertyy runsaasti laitteiden vikaantumiseen liittyvää tietoa, jos jokaisen laitteen irrotuksen ja huollon yhteydessä kirjataan laitteen tiedot ja sille tehtyt toimenpiteet tiedonkeruujärjestelmään, josta on mahdollista tehdä hakuja tätä varten suunnitelluilla ohjelmilla.

Vastaavasti laitteiden ja järjestelmien luotettavuuden ennustaminen elinkaaren aikana on vaikeaa, jos riittävää määrää vikaantumisdataa ei ole saatavilla. Tässä kappaleessa esiteltävillä menetelmillä luotettavuutta voidaan ennustaa vikahistoriasta.

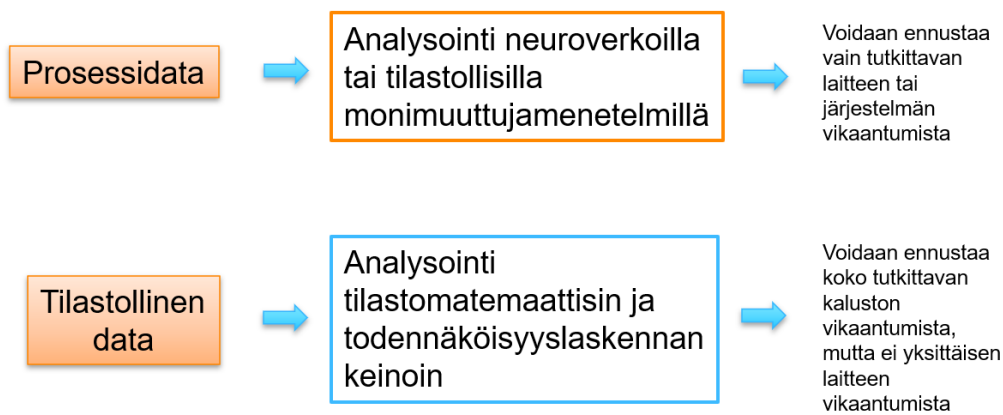
Haasteena on, ettei tavanomaisin menetelmin datasta saada juurikaan tietoa, jolla voitaisiin analysoida laitteen vikaantumistodennäköisyyttä tai sen huollon tarvetta. Mm. huoltojen keventäminen tai laitteen käyttövarmuuden parantaminen edellyttää laitteen vikahistorian syvällistä analysointia, jotta laitteen käytettävyyden kannalta parhaat huoltovälit olisi mahdollista määritellä.

Esimerkiksi kysymyksiin laitteen huoltovälin pidentämisen/lyhentämisen vaikutuksesta vikaantumistodennäköisyyteen, odotettavissa olevien vikojen määrään huoltovälin muuttuessa tai varalaitteiden riittävyyteen vastaaminen vaatii vikahistorian analysointia.

## Kahdenlaista dataa

Järjestelmistä on saatavissa kahdenlaista dataa: prosessidataa ja tilastollista dataa. Prosessidata on reaaliaikaista ohjaustietoa, jota vaihdetaan ohjaussovelluksen ja etälaitteiden välillä esimerkiksi tietoliikenneverkon avulla. Prosessidataa voidaan tutkia mm. neuroverkkosovelluksilla: oppivilla koneilla ja tekoälyllä sekä monimuuttujamenetelmillä. On tärkeää huomata, että prosessidatasta voidaan saada tietoa vain sen järjestelmän toiminnasta, josta se on peräisin.

Tilastollista dataa saadaan taas järjestelmän tai laitteen vika- ja korjaushistoriasta. Tilastollista dataa kerätään useista laitteista ja data edustaa yleensä koko tarkasteltavaa kalustoa. Dataa tutkitaan tyypillisesti tilastomatemaattisin keinoin. Tilastollisesta datasta voidaan tehdä ennusteita esimerkiksi kaluston huolto- ja korjaustarpeesta, siihen käytettävistä resursseista ja esimerkiksi takuukustannuksista. Tilastollisen datan avulla ei voida ennustaa miten yksittäinen laite käyttäytyy tulevaisuudessa, vaan miten saman populaation laitteet käyttäytyvät keskimäärin.



Kuva 3.18. Prosessidata vs. tilastollinen data

## Vikaantumistiedon tallentaminen

Vikahistorian tallentamiseksi on monta menetelmää. Perinteisesti historia on tallennettu käsin, mutta tietokoneiden aikakaudella yhä enenevässä määrin historia on tallennettu tiedostoihin. Varsin tavallisesti tallennus on tehty taulukkolaskentaohjelmalla, esimerkiksi Excel-ohjelmalla. Datan sujuvan ja mahdollisesti automaattisen analysoinnin kannalta paras menetelmä on kuitenkin tietokanta. Tietokanta pakottaa tallentamaan datan systemaattisesti ja päällekkäisyyksien sekä muiden datan analysointia vaikeuttavien seikkojen todennäköisyys on mahdollisimman pieni.

Tietokantoja on rakenteeltaan ja toimintaperiaatteiltaan erilaisia, mutta datan analysoinnin kannalta keskeisimmät toimintaperiaatteet ovat samat.

## Tietokannat

Tietokantaa käytetään, kun on tarve tallentaa suuri määrä tietoa kauan, turvallisesti, yhdenmukaisesti ja yksikäsitteisesti siten, että sitä voidaan edelleen käsitellä, hakea ja jakaa joustavasti ja samanaikaisesti. Tietokannan peruseriaatteita on myös itse tiedon ja sen käsittelyn erottaminen, koska tiedon haun ja käsittelyn tarpeet vaihtuvat eri tahdissa käsiteltävän tiedon ja varsinkin tiedon rakenteen kanssa. Tietokanta on kokoelma yhteen liittyvää tietoa. Tiedolla tarkoitetaan tosiasioita, joita voidaan kirjata ja joilla on jokin merkitys. Esimerkiksi puhelinluettelo on tietokanta.

Tietokannalle asetetaan seuraavia vaatimuksia: (Lahtonen 2002)

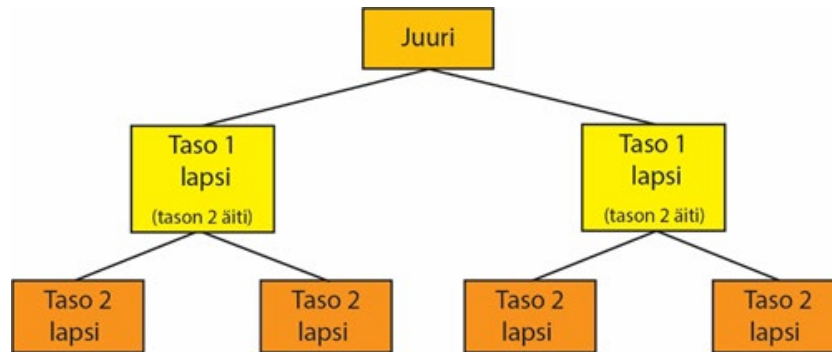
- kukin tieto tallennetaan tietokantaan vain yhteen paikkaan
- tietoa pystytään hakemaan erilaisin perustein, myös sellaisin, joita ei tietokantaa suunniteltaessa pystytty ennakoimaan
- tietokannan rakenteen muuttaminen on joustavaa
- tietokannan käyttö ja sovellusohjelmat ovat riippumattomia tietojen fyysisestä tallennusrakenteesta.

Tietokannan käytön etuja ovat mm. tietojen monistumisen hallinta, tietojen yhdenmukaisuus sekä se, että tietoja yhdistelemällä saadaan enemmän informaatiota samoista lähtötiedoista. Oleellista on myös se, että tietokannalla voidaan jakaa tietoa ja hallita sen oikeellisuutta. Samalla voidaan toteuttaa myös tiedon suojaus. (Conolly ym. 2005)

## Tietokantarakenteita

### *Hierarkkiset tietokannat*

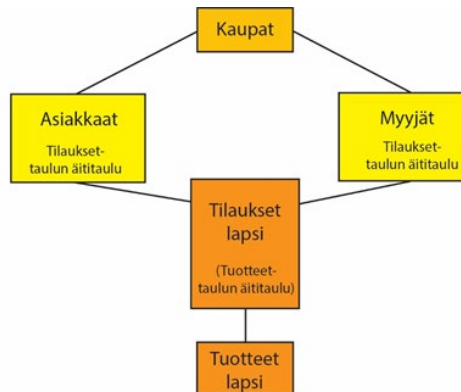
Ensimmäiset tietokannat 1960-luvulla olivat hierarkkisia tietokantoja. Nimensä mukaisesti niissä tieto on järjestetty hierarkkiseen muotoon (Kuva 3.19). Hierarkkinen tietokanta muodostaa ylösalaisin olevan puun muotoisen rakenteen. Malli on hyvin jäykkä, eikä sillä pystytä esittämään kaikkia rakenteita. Tiedon turhaa toistoa, joka vaikeuttaa tiedon päivittämistä, ei myöskään pystytä mallissa välttämään (Lahtonen 2002, Conolly ym. 2005)



Kuva 3.19. Hierarkkinen tietokanta

### *Verkkotietokannat*

Verkkotietokannat suunniteltiin korjaamaan hierarkkisten tietokantojen puutteita. Tietojen väliset suhteet pyrittiin kuvaamaan joukkoina hierarkioiden asemesta. Käytännössä verkkotietokannat ja hierarkkiset tietokannat erottaa toisistaan verkkotietokannoissa oleva mahdollisuus antaa lapsitauluille useampi kuin yksi äititaulu (Kuva 3.20).



Kuva 3.20. Verkkotietokanta

Verkkotietokantojen toteuttaminen ja ylläpitäminen on osoittautunut hankalaksi. Eniten niitä ovat käyttäneet ohjelmoijat, eivätkä tavalliset käyttäjät (Lahtonen 2002, Conolly ym. 2005).

### *Relaatiotietokanta*

Yleisimmin tiedon tallentamiseen käytetään nykyisin relaatiotietokantaa, jonka esitteli E.F. Codd vuonna 1970. Relaatiotietokanta on pitkään ollut tietokantamalleista yksinkertaisin ja joustavin, joka toteuttaa parhaiten tietokannalle asetetut vaatimukset. On olemassa myös tietokonekielten mukana tullutta oliopohjaista ajattelua noudattavia oliorelaatiotietokantoja, mutta silti perusrelaatiotietokanta on säilyttänyt asemansa.

	REKNO	LYK	LAKA	AJOPVM
	358610	1	1238	23.10.2008
	358610	2	1796	23.10.2008
	358610	3	1178	23.10.2008
Tietue	358610	4	1817	23.10.2008
Avainkenttä	358610	5	1916	23.10.2008

Kenttä

Kuva 3.21. Relaatiotietokanta

Relaatiotietokannassa tiedot esitetään tauluna (*table*), joita kutsutaan myös relaatioiksi (Kuva 3.21). Tietoa haetaan taulussa olevalla yksikäsitteisellä perusavaimella. Perusavaimena toimii kenttä, jonka sisältämä tieto vastaa jotain reaali maailman kohdetta.

Avainkenttä

REKNO	LYK	LAKA	AJOPVM
358610	1	1238	23.10.2008
358610	2	1796	23.10.2008
358610	3	1178	23.10.2008
358610	4	1817	23.10.2008
358610	5	1916	23.10.2008

REKNO	PYT	NIMI1	TASM1	PRTY	ASH	YKS
366745	74A410501-1041	LANDING GEAR,MAIN	-	HN	TH13	KPL
365824	74A210004-1017	STABILIZER,HORIZONTAL	-	HN	TH11	KPL
358610	3014000-6	SERVOCYLINDER,STABILATOR	-	HN	TH14	KPL

Kuva 3.22. Tiedonhaku avainkenttien avulla

## SQL-kieli

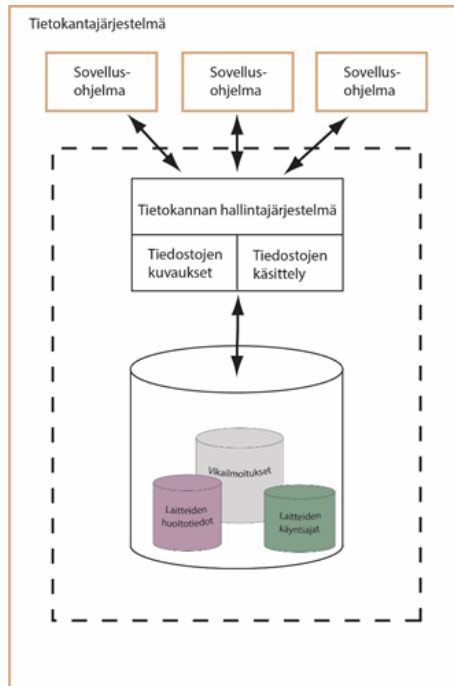
Tietoa haetaan tietokannasta erityisesti relaatiotietokannalle suunnitellulla hakukielellä, SQL (*Structured Query Language*), joka on yleisin relaatiotietokantojen kysely- ja käsittelykieli. SQL-kieli perustuu relaatioalgebraan ja relaatiokalkyyliin, mutta on näitä huomattavasti joustavampi ja ilmaisuvoimaisempi. SQL-kielellä kyselyt voidaan kohdistaa useaan relaatioon (tauluun) käyttäen hyväksi näiden avainkenttiä. Tämän vuoksi relaatiotietokannassa yksittäisen tiedon tarvitsee esiintyä vain yhden kerran, jolloin sen päivittäminen ja ylläpito on helpompaa verrattuna tilanteeseen, jossa sama tieto esiintyy useassa paikassa (Kuva 3.22).

## Tietokannan hallintajärjestelmä

Tietokannan hallintajärjestelmä (TKHJ), on tietokoneohjelma, joka tarjoaa käyttäjille (sovelluksille) rajapinnan tietokannan käsittelyyn, eli kytkee yhteen käyttäjän ohjelmasovelluksen ja tietokannan. Se on yleensä ainoa sallittu tapa käsitellä tietokantaa. THKJ:n avulla on mahdollista luoda tietokanta, sen taulut ja taulujen väliset suhteet, yleensä käyttämällä SQL-kieltä. Se mahdollistaa tehokkaan tavan käsitellä ja hakea tietoa. Lisäksi se mahdollistaa tietokannan ylläpitämisen lisäämällä, muuttamalla ja tuhoamalla tietoja, sekä tietojen noutamisen tietokannasta. Myös useiden



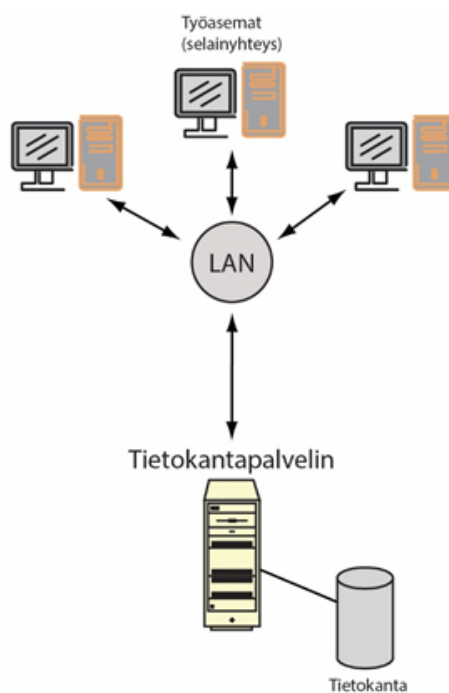
käyttäjien hallittu ja turvallinen yhtäaikainen tiedonkäsittely voidaan toteuttaa TKHJ:n avulla (Kuva 3.23.).



Kuva 3.23. Tietokannan hallintajärjestelmä

## Tietokanta-arkkitehtuuri

Yksinkertaisimmillaan tietokanta on tietokone, jonka kovalevyllä on tietokantaohjelma (Kuva 3.23). Suuret tietokannat ovat yleensä hajautettuja, jolloin tietokanta käsittää useita tietokoneita, jotka on verkotettu toisiinsa. Usein verkkona toimii Internet, jolloin tietokannan sisältävään palvelintietokoneeseen saa yhteyden lähes mistä tahansa. Verkkona voidaan käyttää myös suojattuja vain tietyn käyttäjäkunnan käytössä olevaa verkkoa, esimerkiksi yrityksen sisäistä lähiverkkoa (LAN).



Kuva 3.24. Esimerkki tietokanta-arkkitehtuurista

# Tilastomatematiikan perusteita

## *Tapahtuma*

Reaalimaailman ilmiöitä, joihin liittyy satunnaisia tapahtumia, sanotaan todennäköisyyslaskennassa satunnaiskokeiksi. Tilastolliset kokeet tuottavat näytteitä, joiden avulla tehdään johtopäätöksiä koskien tutkittavaa ilmiötä. Näytteiden avulla tutkittava ilmiö pyritään mallintamaan.

Keskeinen käsite on yksityinen koe (koetoisto, *experiment*, *random experiment*). Koe on prosessi, jolla on seuraavat ominaisuudet:

1. Kokeella on useita mahdollisia erilaisia tuloksia.
2. Jokaisen kokeen suorituskerran tuloksen määrää sama mekanismi, joka on kuitenkin satunnainen, ja siten tulosta ei voi etukäteen täsmällisesti ennustaa.

Yksittäisen kokeen suorituksen (koetoisto, *trial*) tuottama tulos on havainto (realisaatio, *outcome*). Kaikkien mahdollisten havaintojen joukkoa kutsutaan kokeen otosavaruudeksi eli perusjoukoksi. Tilastollisessa kokeessa eivät kiinnosta niinkään yksittäiset havainnot, vaan se kuuluuko havaintotiettyyn havaintojen joukkoon. Tätä joukkoa kutsutaan tapahtumaksi (*event*).

Tapahtuma on siten etukäteen määriteltä havaintojen joukko, johon yksittäisiä havaintoja verrataan ja tutkitaan, realisoituiko tapahtuma. (Tilastotieteessä tapahtuma ei siten vastaa arkipäivän tapahtuma käsitettä. Jokapäiväisessä kielenkäytössä tapahtuma on jotain ennalta arvaamatonta (ennalta määrittelemätöntä) ja on ehkä käsitteenä lähempänä yksittäistä havaintoa.)

Satunnaissuure (satunnaismuuttuja, *random variable*, *stochastic variable*)  $X$  on suure, jonka arvot riippuvat sattumasta (esimerkiksi laakerin vikaantumisaika). Edellisen mukaan yksittäisen kokeen tuloksena saamme yhden havainnon  $X_i$  satunnaissuurelle  $X$ . Yksittäinen havainto  $X_i$  kuuluu aina perusjoukkoon. Satunnaissuureesta kerättyjen koetoistojen arvoja  $X_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) kutsutaan otokseksi.

## *Todennäköisyys*

Kokemus osoittaa, että useimmissa kokeissa esiintyy tilastollista säännöllisyyttä ts. realisoituneiden tapahtumien suhteellinen osuus, frekvenssi, näyttää stabiloituvan kohti tiettyä vakioarvoa. Jos koe suoritetaan hyvin monta kertaa ( $N$  koetoistoa, joissa tapahtuma  $E$  realisoitui  $NE$  kertaa), niin tapahtuman  $E$  realisoitumisfrekvenssi  $f_E = NE/N$  lähestyy vakioarvoa  $P(E)$  (kun  $N$  kasvaa suureksi).  $P(E)$  on tapahtuman  $E$  todennäköisyys.

## Satunnaissuureiden jakaumafunktiot

Koska vikaantuminen on aina satunnaista ja vika-ajat ovat satunnaissuureita, on vikaantumisdatan mallintamiseen luontevinta käyttää todennäköisyysjakaumia.

Satunnaissuureen luonnehtimiseksi ei riitä pelkästään sen mahdollisten arvojen määrittely, vaan on myös määritettävä mikä on todennäköistä. Jos satunnaissuure voi saada vain äärellisen määrän arvoja, on ko. satunnaissuureen luonnehtiminen yksinkertaista. Tarvitsee vain luetella sen mahdolliset arvot ja liittää näihin arvoihin todennäköisyydet, jotka satunnaissuure niille antaa. Jos kyseessä on laskennallisesti ääretön tapaus, niin määritetään lauseke, joka antaa nämä todennäköisyydet. Näiden tehtävien toteuttamiseen käytetään kahta funktiota: tiheysfunktioita ja kertymäfunktioita. Edelliselle käytetään merkintää  $f(x)$  ja jälkimmäiselle  $F(x)$ .

Satunnaissuureet jakautuvat useimmiten kahteen luokkaan, ne ovat joko **diskreettejä** tai **jatkuvia**. Sekä diskreettejä että jatkuvia satunnaissuureita voidaan mallintaa tarpeen mukaan joko parametrisillä tai ei-parametrisillä jakaumilla.

Parametriset jakaumat (kuten Eksponentti, Normaali tai Poisson) voidaan määritellä täsmällisesti pienellä määrällä parametreja kuten keskiarvo ja hajonta.

Ei-parametristen (empiiristen) jakaumien parametrit ovat satunnaiskokeen havaintoja. Ei-parametristä jakaumaa voidaan soveltaa, kun ei ole mahdollista tai tarpeellista kiinnittää satunnaissuuretta johonkin erityiseen parametrisen jakauman. Eräs ei-parametrisen jakauman etu on siinä, että mallissa ei tehdä mitään oletuksia satunnaiskokeen tuottamien havaintojen ulkopuolelta. Tämä voi olla

myös haitta, koska kokeiden tuottamat havainnot eivät välttämättä kata kaikkia mahdollisia arvoja.

Satunnaissuureen luonteen kuvaa täydellisesti sen tiheys- tai kertymäfunktio, joka kertoo mitkä arvot satunnaissuure voi saada ja millä todennäköisyydellä. Todennäköisysteoriassa ja sen sovelluksissa, sisältäen luotettavuusteorian, huomattavaa osaa näyttelevät tietyt vakiot, jotka saadaan jakaumafunktioista määrättyjen sääntöjen avulla. Näitä erityisen tärkeitä vakioita, joita käytetään satunnaissuureiden yleiseen kvantitatiiviseen estimointiin, ovat **keskiarvo**, **varianssi**, **mediaani** ja eri kertalukujen momentit (*moments of different orders*).

Jos tutkijan käytettävissä on pelkästään joukko havaintoja, silloin näille parametreille ei saada täsmällisiä arvoja. Parametrien likiarvot on määritettävä käyttäen tilastollisia menetelmiä.

## Jatkuva jakauma

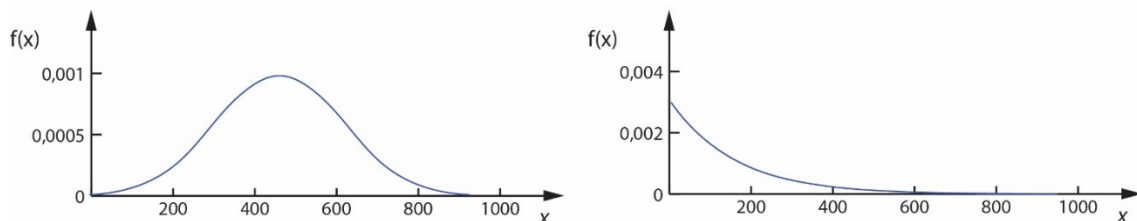
Jatkuvia satunnaissuureita käytetään kuvaamaan satunnaisia ilmiöitä, joissa tarkasteltava satunnaissuure  $X$  voi saada minkä tahansa arvon jollain välillä. Esimerkkinä laitteen vikojen välinen aika tai laitteen korjausaika. Jatkuvia jakaumia ovat esimerkiksi Gamma-jakauma, Eksponentti-jakauma, Normaalijakauma, Weibull-jakauma ja Log-normaalijakauma.

### Tiheysfunktio

Olkoot  $X$  jatkuva satunnaissuure. Funktiota  $f$  kutsutaan  $X$ :n **tiheysfunktioksi**, jos sille pätee

$$f(x) \geq 0$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1$$



Kuva 3.25. Tiheysfunktioita. Vasemmalla normaalijakauman tiheysfunktio, oikealla eksponenttijakauman tiheysfunktio.

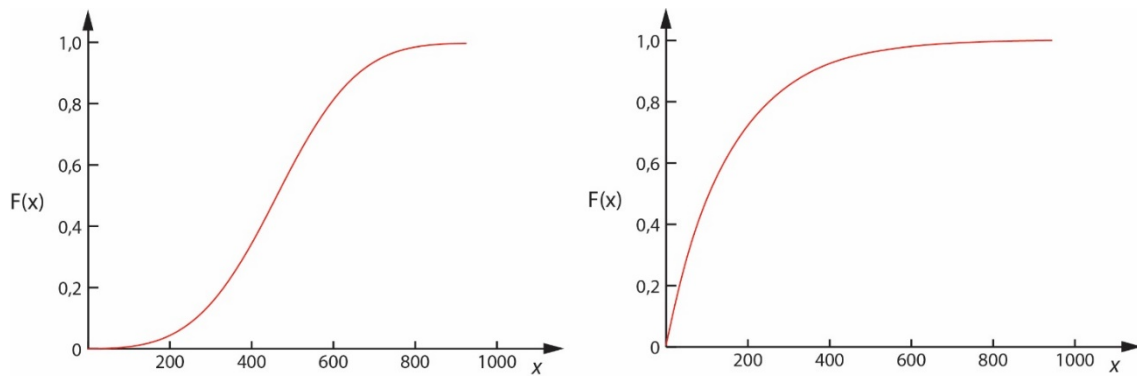
Oheisessa kuvassa kuvaajan alapuolelle jäävä pinta-ala on 1.

### Kertymäfunktio

Olkoot  $X$  jatkuva satunnaissuure, jonka tiheysfunktio on  $f$ .  $X$ :n kertymäfunktio  $F$  määritellään:

$$F(x) = P[X \leq x]$$

$$P[X \leq x] = F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt$$



Kuva 3.26. Kertymäfunktioita. Vasemmalla normaalijakauman kertymäfunktio, oikealla eksponenttijakauman kertymäfunktio.

Kertymäfunktio antaa siis todennäköisyyden, jolla satunnaissuure  $X$  on pienempi tai yhtä suuri kuin mielivaltainen kiinteä arvo  $x$ .

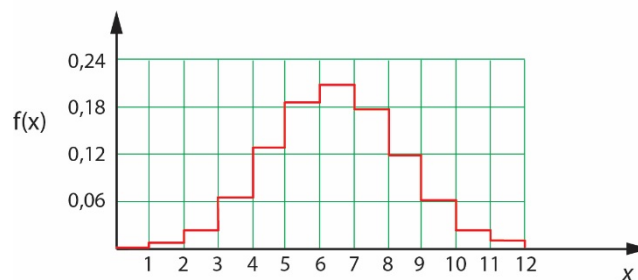
### Diskreetti jakauma

Diskreettejä satunnaissuureita käytetään kuvaamaan satunnaisia ilmiöitä, joissa satunnaissuure  $X$  voi saada vain kokonaislukuarvoja. Esimerkiksi laitteen vikojen lukumäärä aikayksikössä. Diskreettejä jakaumia ovat esimerkiksi Binomijakauma ja Poisson-jakauma.

### Tiheysfunktio

Olkoon  $X$  diskreetti satunnaissuure. Funktiota  $f$  kutsutaan  $X$ :n tiheysfunktioiksi  $x$ :n reaaliarvoilla, jos sille pätee

$$\begin{aligned} f(x) &\geq 0 \\ \sum_x f(x) &= 1 \\ f(x) &= P[X = x] \end{aligned}$$



Kuva 3.27. Diskreetin jakauman tiheysfunktio

Oheisessa kuvassa kuvaajan alapuolelle jäävä pinta-ala on 1.

$f$  on määritelty kaikille reaaliarvoille. Mille tahansa reaaliarvo  $x$ ,  $f(x)$  on todennäköisyys sille, että diskreetti satunnaissuure  $X$  saa arvon  $x$ .

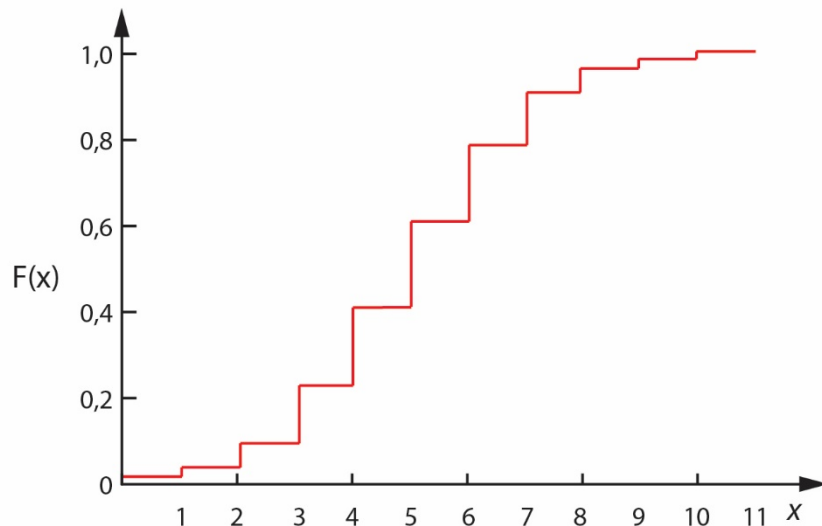
## Kertymäfunktio

Olkoon  $X$  diskreetti satunnaissuure, jonka tiheysfunktio on  $f$ .  $X$ :n kertymäfunktio  $F$  määritellään

$$F(x) = P[X \leq x]$$

Tarkastellaan nyt tiettyä reaalilukua. Määrittääksemme todennäköisyyden, laskemme yhteen  $f(x)$ :n arvot kaikilla  $X$ :n mahdollisilla arvoilla, ts.

$$F(x_0) = \sum_{(x \leq x_0)} f(x)$$



Kuva 3.28. Diskreetin jakauman kertymäfunktio

Kertymäfunktio on porraskfunktio, jossa hyppäykset tapahtuvat  $X$ :n mahdollisilla arvoilla  $x_0, x_1, x_2, \dots$

## Datasta jakaumaksi

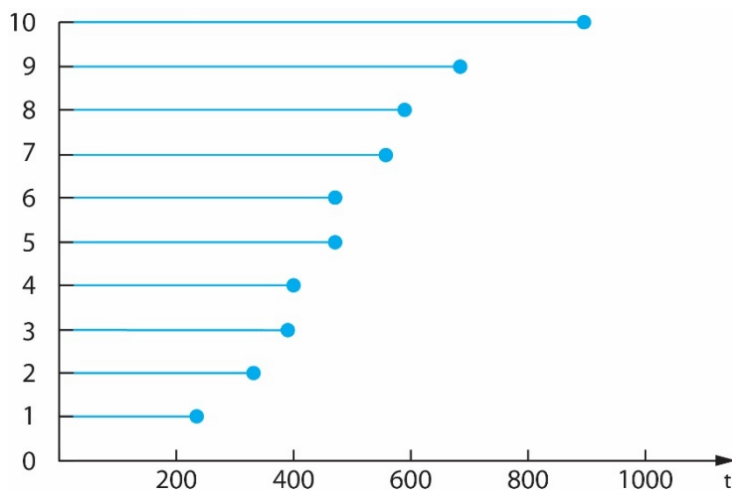
Kuten edellä todettiin, sekä diskreettejä että jatkuvia satunnaissuureita voidaan mallintaa tarpeen mukaan joko parametrisillä tai ei-parametrisillä jakaumilla. Parametriset jakaumat (kuten Eksponentti, Normaali tai Poisson) voidaan

määritellä täsmällisesti pienellä määrällä parametreja kuten keskiarvo ja hajonta. Ei-parametristen (empiiristen) jakaumien parametrit ovat satunnaiskokeen havaintoja.

Kun käytetään dataa, joka käsittää pelkästään "aitoja" vikaantumisaikoja ts. havaintoihin ei liity sensurointia, niin jakauma voidaan muodostaa otoskertymäfunktiona  $F_n(x)$ , joka on porrasmainen approksimaatio kertymäfunktiolle  $F(x)$ .

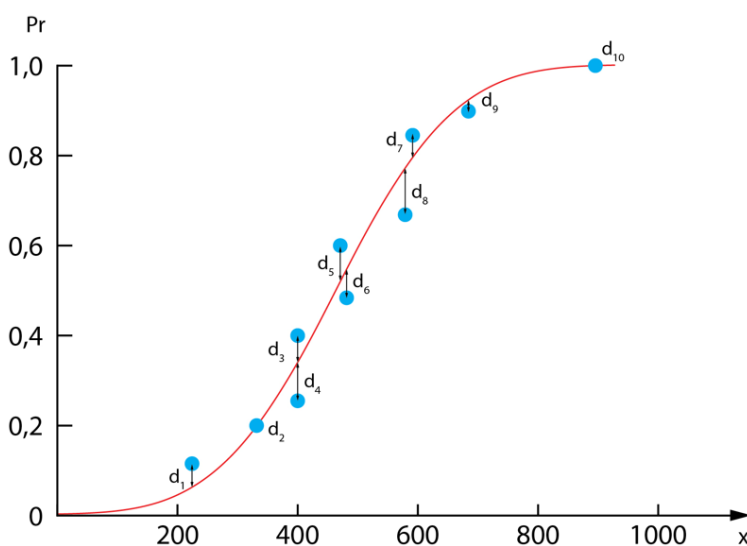
$$F(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (X_i \leq x)$$

Käytännössä jakauma konstruoidaan graafisesti niin, että jaetaan kuvaajan pystyakseli yhtä moiseen osaan kuin on otoksen koko (Kuva 3.29). Tämän jälkeen sijoitetaan otospisteet suuruusjärjestyksessä kuvaajaan aloittaen pienimmästä, joka sijoitetaan kohtaan 1.



Kuva 3.29. Empiirisen otoskertymäfunktion kuvaaja, joka on kertymäfunktion porrasmainen approksimaatio.

Jotta jakaumaa voidaan käyttää vikaantumisen analysoinnissa ja simuloinnissa, on ei-parametrisestä jakaumasta konstruoitava parametrinen jakauma. Parametrinen jakauma konstruoidaan valitsemalla lähtökohdaksi kyseiseen tapaukseen parhaiten soveltuva jakauma (jakaumaperhe). Valitun jakaumaperheen tietty jakauma löytyy määrittämällä jakauman parametrien arvot siten, että ko. jakauma sopii jonkin kriteerin perusteella mahdollisimman hyvin tutkittavaan dataan. Tavallinen sovitusten menetelmä on pienimmän neliösumman menetelmä. Pienimmän neliösumman menetelmässä haetaan jakauman parametreille sellaiset arvot, että data-arvojen (vika-aikojen) ja jakaumasta laskettujen vastaavien arvojen erotuksien neliöiden summa saa minimin (Kuva 3.30).



Kuva 3.30. Parametrisen, jatkuvan jakauman sovittaminen otoskertymäfunktion

## Simulointimallit

Käyttövarmuuden suunnittelua varten tutkittavasta järjestelmästä pyritään tekemään sellainen matemaattinen tai looginen malli, että sen avulla voidaan tehdä järjestelmän käyttäytymistä kuvaavia, selittäviä ja ennustavia kokeita. Kokeet suoritetaan tietokonesimulointeina. Simuloinnin tarkoituksena on tutkittavan järjestelmän käyttäytymisen ennustaminen, sekä sen toiminnan ymmärtäminen tai erilaisten toimintastrategioiden vaikutusten arviointi. Kun simulointimalli on todettu päteväksi, niin sen avulla voidaan hakea vastauksia lukuisiin "mitä jos" kysymyksiin koskien tutkittavaa kohdetta. Kohde voi olla jo käytössä oleva tai vasta suunnittelun kohteena oleva laite tai järjestelmä.

Simulointimallit voidaan luokitella seuraavasti:

1. Diskreetit ja jatkuvat mallit. Niitä erottaa niiden tapa kuvata ilmiötä. Diskreetti malli pohjautuu yksittäisiin, erotettaviin tapahtumiin, jotka muuttavat mallin tilan. Jatkuvia malleja käytetään jatkuvassa muutoksessa olevien prosessien kuvaamiseen.
2. Staattiset ja dynaamiset mallit. Staattisessa mallissa systeemin tilat eivät muutu ajan funktiona, kun taas dynaamisessa mallissa näin tapahtuu.
3. Deterministiset ja stokastiset mallit. Jos simulointimalli ei sisällä satunnaistekijöitä, kutsutaan mallia deterministiseksi. Deterministisessä mallissa tapahtumat ja niiden lopputulokset voidaan määritellä varmuudella alkuarvojen perusteella.

Monissa järjestelmissä satunnaistekijät vaikuttavat kuitenkin oleellisesti toimintaan. Kun nämä satunnaistekijät otetaan huomioon simuloinnissa, puhutaan stokastisesta mallista ja stokastisesta simuloinnista.

Stokastiset mallit ja niitä käyttäen suoritettut **stokastiset simuloinnit** ovat tässä yhteydessä käytetyt tärkeimmät menetelmät.

## Stokastisen simuloinnin periaate

Tietokoneavusteinen stokastinen simulointi perustuu tietokoneen satunnaislukugeneraattoriin, joka tuottaa satunnaissiemeniä. Satunnaissiemen, jolle tässä käytetään tunnusta  $U$ , on satunnainen luku väliltä  $0..1$ . Esimerkiksi:

$$U = rnd(1) = 0,23044029087$$

Satunnaissiemenen jokainen desimaali voi saada minkä tahansa arvon aikaisemmista desimaaleista riippumatta. Sanotaan että  $U$  on tasaisesti jakautunut välillä  $[0,1]$ .

Kun vikaantumisdatasta on saatu mallinnettua jakauma, voidaan jakaumaa käyttää simulointiin. Simuloinnissa ”tuotetaan” vikaantumisaikoja mallinnetusta jakaumasta. Simulointi suoritetaan jakauman kvantiilifunktiota (kertymäfunktion käänteisfunktio) seuraavasti:

Alkuperäinen kertymäfunktio (tässä Weibull-jakauma):

$$F(x) = 1 - e^{-\alpha \cdot x^\beta}$$

Kertymäfunktion käänteisfunktio, kvantiilifunktio (kertymäfunktio ratkaistaan  $x:n$  suhteen):

$$X(U) = \left( -\frac{\ln(1-U)}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

Nyt voidaan simuloida, määritellään ensin simuloitavan otoksen koko:

$$n = 1000$$

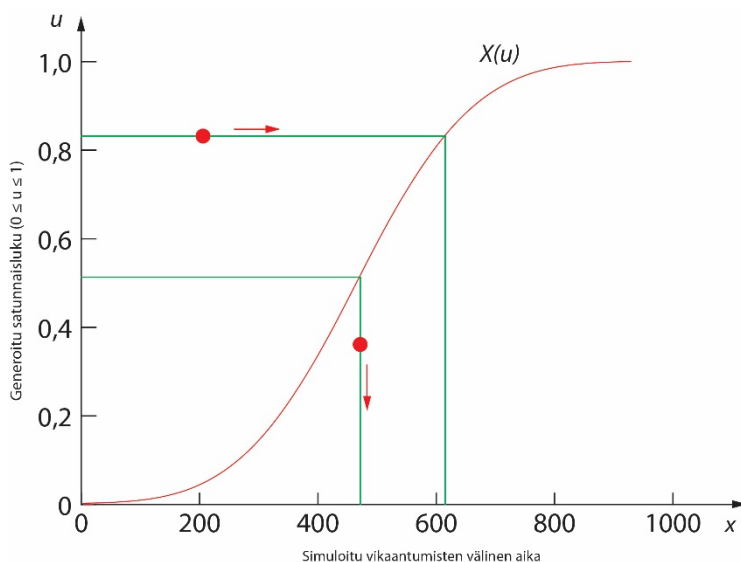
Ja määritellään indeksi:

$$i = 0 \dots n - 1$$

simuloitaessa muuttujana  $U$  käytetään satunnaislukua  $rnd(1)$ :

$$x_i = \left( -\frac{\ln(1-rnd(1))}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\beta}}$$

paramerit  $\alpha$  ja  $\beta$  ovat mallinnetun jakauman parametrit.

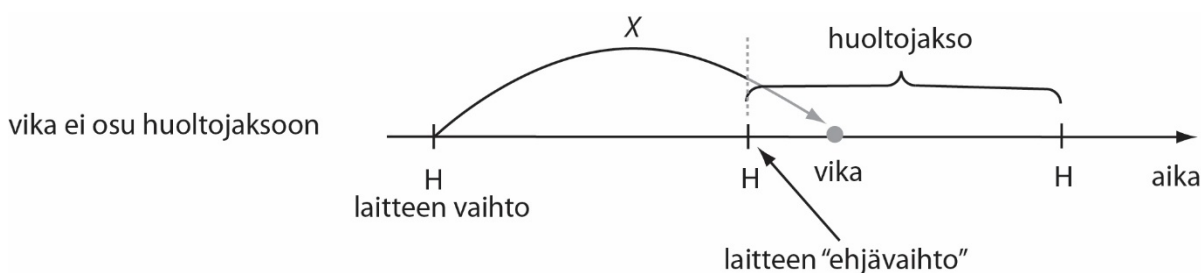


Kuva 3.31. Simuloinnin periaate

### Simulointiesimerkki: simuloinnin käyttö huoltojakson määrittämisessä

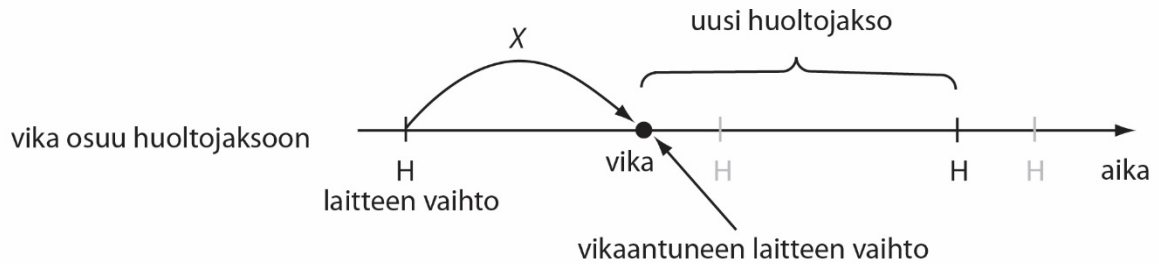
Stokastista simulointia voidaan käyttää mallintamaan huoltojakson pituuden vaikutusta vikaantumiseen. Simulointi tapahtuu seuraavasti: asetetaan ensin haluttu huoltojakso  $H$ . Tuotetaan sitten kvantiilifunktosta vikaantumisaika  $X$ , jota verrataan huoltojakssoon. Jos vikaantumisaika on suurempi kuin huoltojakso, tarkoittaa tämä, että laite ehdittiin huoltaa ennen kuin laite vikaantui (Kuva 3.32). Jos taas vikaantumisaika on lyhyempi kuin huoltojakso, tarkoittaa se sitä, että laite vikaantui ennen kuin se ehdittiin huoltaa (Kuva 3.33).

Simulointia toistetaan niin pitkään, että lopputuloksessa ei esiinny enää merkittävää vaihtelua. Simulointituloksista voidaan laskea todennäköisyys laitteen vikaantumiselle, kun käytetään kyseistä huoltojakson pituutta. Jos vikaantumisen todennäköisyys on liian suuri, lyhennetään huoltojakson pituutta ja simuloidaan uudestaan. Jos taas vikaantumisia on liian vähän, pidennetään huoltojakson pituutta. Vikaantumisia voi olla liian vähän, jos epäillään huoltojakson olevan liian lyhyt, eli huoltoja tehdään tarpeettoman usein. Simuloimalla voidaan etsiä kokeilemalla sopiva huoltojakson pituus, niin että ei tehdä tarpeettoman paljon huoltoja ja vikaantumisten määrä on siedettävä.



Kuva 3.32. Simuloitu vikaantumisaika on pidempi kuin huoltoväli, jolloin laite ehditään huoltaa ennen sen vikaantumista.





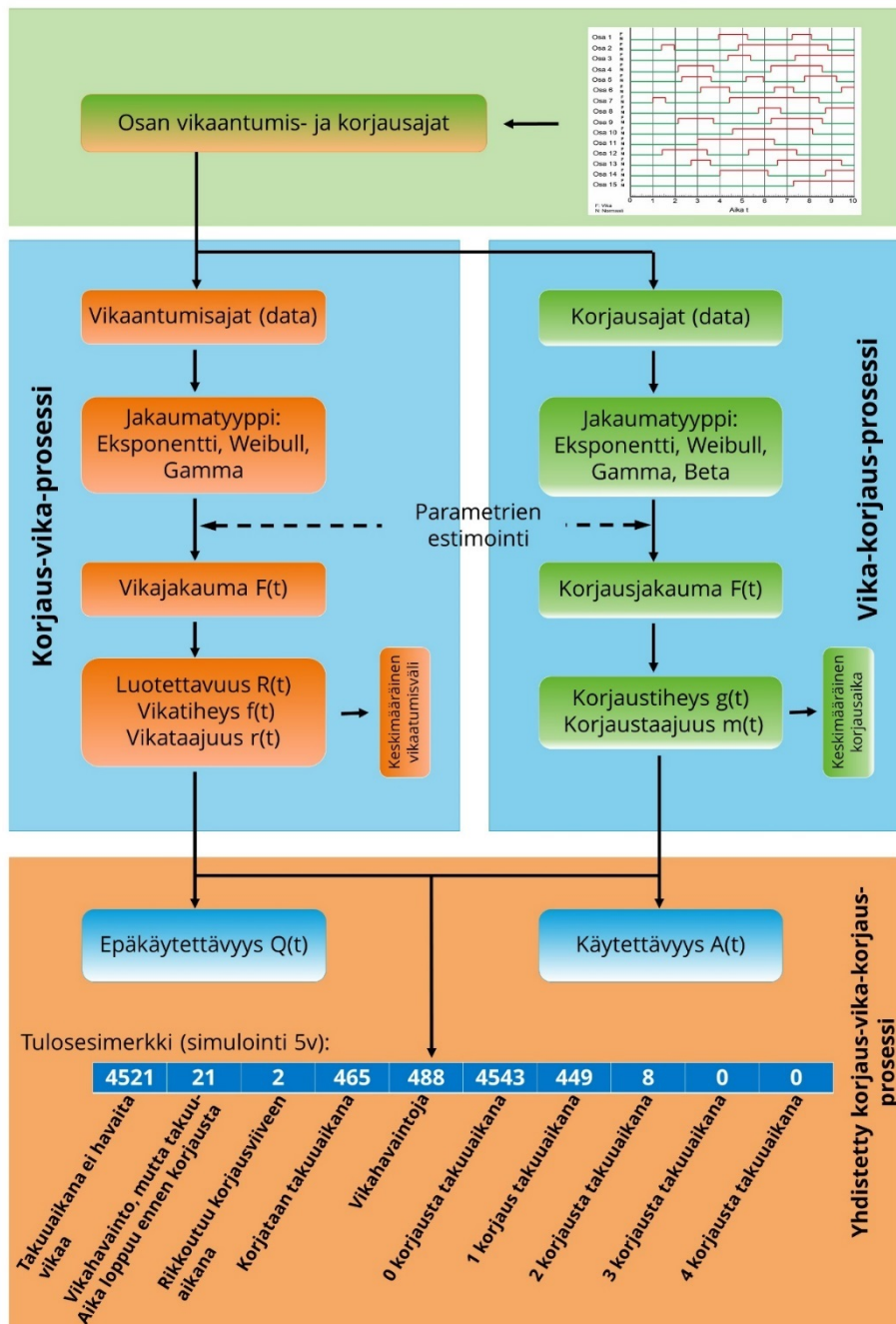
Kuva 3.33. Simuloitu vikaantumisaika on lyhyempi kuin huoltoväli, jolloin laite vikaantuu ennen kuin se ehditään huoltaa.

## Yhdistetty Korjaus-vika- ja vika-korjausprosessi

Edellä käsitellyt mallit voidaan yhdistää korjaus-vika-korjausprosessiksi, jonka lähtötietoina käytetään vika- ja korjaushistoriaa (Kuva 3.34). Kuvan vasen puoli esittää vikaantumisen mallintamista. Lähtökohtana ovat tiedot kyseisen osatyypin vikaantumisaajoista sekä kyseisellä käyttöpaikalla, että vastaavissa käyttöpaikoissa. Vikadatan avulla määritetään vikajakauman kertymäfunktio  $F(t)$  ja edelleen luotettavuusfunktio  $R(t)$  sekä vikatiheys  $f(t)$  ja (hetkellinen) vikataajuus  $b(t)$  (hasardi-funktio). Kuvan oikea puoli esittää järjestelmän korjausta. Lähtökohtana ovat tiedot kyseisen osan korjausajoista sekä kyseisellä käyttöpaikalla, että vastaavissa käyttöpaikoissa. Korjausdatan avulla määritetään korjausjakauman kertymäfunktio  $G(t)$  sekä korjaustiheys  $g(t)$  ja korjaustaajuus  $m(t)$ .

Kuvan alaosa käsittelee yhdistettyä korjaus-vika-korjaus -prosessia. Lähtökohtana ovat edellä määritetyt vikatiheys- ja korjaustiheysfunktio  $f(t)$  ja  $g(t)$  ja tuloksena saadaan mm. osan keskimääräiset vikojen ja korjausten lukumäärät  $\Lambda(0, t)$  ja  $V(0, t)$  sekä epäkäytettävyys  $Q(t)$  ja käytettävyys  $A(t)$ .

Seuraavassa kuvassa (Kuva 3.34) on esitetty vielä tulosesimerkki, jossa on simuloitu laitteen takuu-aikana tapahtuvien vikaantumisien ja korjausten määrät.



Kuva 3.34. Korjaus-vika-korjaus-prosessin analysointia kuvaava lohkokaavio

## Keskeiset opit

- Prosessidatasta voidaan ennustaa vain yksittäisen laitteen tai järjestelmän käyttäytymistä ja mahdollista vikaantumista.
- Tilastollisesta datasta voidaan ennustaa sen populaation (kaluston) käyttäytymistä, mistä se on kerätty, muttei yksittäisen laitteen vikaantumista.

# 3.6

## TULEVAISUUDEN KEHITYSNÄKYMİÄ

*Helena Kortelainen ja Toni Ahonen*

### Johdanto

Digitalisaatio, teollinen internet (IoT, Industry 4.0), pilvipalveluiden kehitys, ja jatkuvasti lisääntyvät koneiden välinen kommunikointi ja verkostoituminen tuottavat runsain mitoin dataa myös teollisissa järjestelmissä, jota kehitystä 5G verkkojen yleistymisen odotetaan entisestään vauhdittavan. Teollisuudessa dataa kerätään jo nyt runsaasti ja tallennetaan tietojärjestelmiin - jonne ne valitettavan usein myös unohdetaan. Tiedon määrää lisää myös automaatioasteen nousu, koska automatisoitu tai kokonaan autonominen toiminta edellyttää huomattavaa anturointia ja siten mittausdataa tulee enemmän. Datapohjaisten ratkaisujen kehittäminen on painottunut edelleen pistemäisiin ratkaisuihin ja tehdas- ja järjestelmätason ratkaisujen kehittäminen on erityisesti osoittautunut haasteeksi. Tiedon analysoinnin osalta paljon toiveita asetetaan koneoppimisen (*Machine Learning, ML*) ja tekoälyn (*Artificial Intelligence, AI*) sovelluksiin. Samanaikaisesti on tunnistettu tarve kehittää osaamisia järjestelmätason mallintamiseen, jossa dataosaaminen yhdistyy ilmiöosaamiseen järjestelmien eri hierarkiatasoilla ja yli yksittäisten teknisten järjestelmien. Seuraavissa kappaleissa näitä kehitysnäkymiä tarkastellaan kolmesta näkökulmasta, joita ovat koneoppiminen, digitaalinen kaksonen ja pilvipalvelut.

### Koneoppiminen

Koneoppiminen on keino opettaa tietokone tunnistamaan, luokittelemaan ja ennustamaan reaali-maailman ilmiöitä ja hahmoja (Bishop 2006). Koneoppimisessa kone tai ohjelma oppii datasta opettamisen avulla ilman kaikkiin mahdollisiin tilanteisiin kirjoitettua ohjelmointia. Koneoppiminen on tekoälyn osa-alue, jonka tarkoituksena on saada ohjelmisto toimimaan entistä paremmin pohjatiedon ja mahdollisen käyttäjän toiminnan perusteella. Koneoppimistilanteessa kone oppii toistuvista tapahtumista ilman, että ihminen erikseen opettaa sitä. Koneoppimisella pyritään automatisoimaan tiedon tulkintaa ja laajentamaan koneen havainnointikykyä monimutkaisten algoritmien avulla perinteisen raja-arvoihin tukeutuvan mallin sijasta.

Koneoppimisen algoritmit luokitellaan niille annettavan opetusdatan perusteella ja ne ovat (Jordan & Mitchell, 2015):

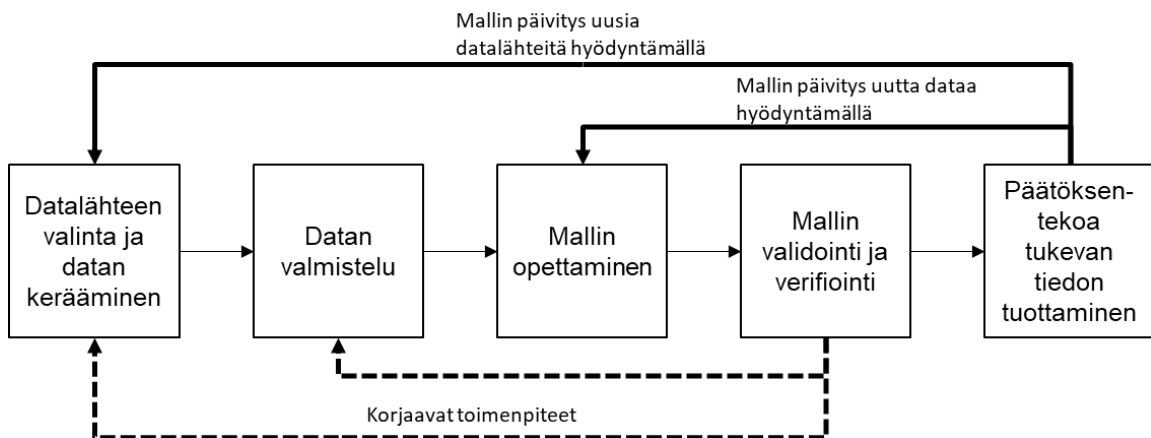
1. Ohjaamaton oppiminen (opetusdatasta ei tiedetä mitään aiemmin). Menetelmää hyödynnetään erityisesti sovelluksissa, joissa pyritään tunnistamaan datasta klustereita, ryppäitä tai joissa pyritään kategorisoidaan tietoa tai tunnistamaan poikkeamia (Lee ym., 2018).
2. Ohjattu oppiminen (opetusdatasta tiedetään haluttu ulostulo). Tyypillisiä ohjatun oppimisen sovelluksia ovat esimerkiksi erilaiset luokittelut ja regression-ongelmat. Ohjattu oppiminen hyödyntää neuroverkkoja, jotka jäljittelevät jossain määrin ihmisaivoja. Ohjattua oppimista hyödynnetään mm. laadun valvonnassa, ennakoivassa kunnossapidossa ja prosessin optimoinnissa (Wuest, 2016)
3. Vahvistusoppiminen (oppiminen tapahtuu mallin ja ympäristön jatkuvan vuorovaikutuksen seurauksena). Vahvistusoppiminen on kiinnostavaa erityisesti tulevaisuuden autonomisten teknologioiden näkökulmasta (Antonoglou ym., 2015)

Ohjatussa oppimisessa konetta opetetaan luokitellun aineiston avulla ja pyritään siihen, että kone osaa tehdä halutun luokittelun samankaltaiselle aineistolle. Ohjaamaton oppiminen jäljittelee ihmisen oppimista. Siinä opettamiseen käytetään raakadataa, josta pyritään löytämään samankaltaisuuksia ja suhteita eri syötteiden välillä, samankaltaiset asiat hakeutuvat toistensa läheisyyteen. Vahvistettu oppiminen on tilanne, jossa kone oppii ympäristön antaman palautteen perusteella.

Koneoppimisessa toteutuvat seuraavat viisi vaihetta:

1. Datan kerääminen: Data voi olla esimerkiksi raakadataa Excelistä, Accessista tai se voi olla tekstitiedostoista muodostunutta dataa. Datan keräämisen vaihe muodostaa perustan tulevalle oppimiselle. Tärkeää on datan määrä, laatu ja relevanttius.
2. Datan valmistelu: Analyttisten prosessien menestyminen perustuu käytetyn datan laatuun. Aikaa voi kulua datan laadun määrittämiseen ja korjaavien toimenpiteiden suorittamiseen, kuten kadoksissa oleva data tai datassa olevien poikkeavuuksien korjaaminen. Tutkiva analyysi on yksi menetelmistä datan vivahteiden sekä yksityiskohtien tutkimiseen.
3. Mallin opettaminen: Tämä vaihe sisältää soveltuvan menetelmän ja datan esitysmuodon valitsemisen mallin muodossa. Käsitelty data jaetaan kahteen osaan, jotka ovat opetus ja testaus. Ensimmäistä osaa käytetään mallin kehittämiseen ja toista osaa käytetään referenssinä.
4. Mallin arviointi: Tarkkuuden testaaminen. Datan toista osaa eli testiosaa hyödynnetään mallin arvioinnissa. Tämä vaihe määrittää ulostuloon perustuen menetelmän valinnan tarkkuuden.
5. Tehokkuuden parantaminen: Tämä vaihe saattaa sisältää erilaisen mallin valinnan tai muuttujien lisäämisen tehokkuuden parantamiseksi. Tämän vuoksi on käytettävä aikaa merkittävästi datan keräämiseen ja valmisteleamiseen.

Kuva 3.35 havainnollistaa koneoppimiseen perustuvan palvelun luonnin ja ylläpidon periaatteita. Koneoppimisen ratkaisulla voidaan tukea elinjakson hallintaan liittyvää päätöksentekoa monin tavoin. Koneoppimisen ratkaisut mahdollistavat yhteyksien ja syy-seuraus suhteiden havaitsemisen, joita ei muilla menetelmillä saataisi selville. Ohjatun oppimisen avulla neuroverkot löytävät yhteyksiä useista rinnakkaisista aikasarjoista, kuten mittausdata laitteiston antureista, säätiedot, häiriölokit, huoltotiedot ja prosessidata. Teollisella internetillä on keskeinen rooli koulutusdatan tehokkaassa keräämisessä. Joissain sovelluksissa koneoppiminen voi myös automatisoida päätöksentekoa.



Kuva 3.35. Koneoppimiseen pohjautuvan palvelun luonti ja ylläpito (Hanski et al., 2019)

Konkreettisia sovelluskohteita koneoppimiselle ovat tietopohjaisten palveluiden kehittäminen jäähdytyslaitteiston energiankulutuksen optimointiin ja ennakkoivaan kunnossapitoon (Hanski et al., 2018). Energiankulutuksen optimoinnin ratkaisussa hyödynnettiin jäähdytysjärjestelmän sisältä-mää tietoa. Laitteistosta tunnistettiin parhaiten energiankulutuksen syitä kuvaavat parametrit ohjaamattoman oppimisen mallien ja järjestelmäasiantuntijoiden yhteistyönä. Tämän jälkeen ohjatun oppimisen avulla koulutettiin uusia malleja simuloimaan järjestelmän käyttäytymistä. Luodut mallit

mahdollistivat tarkastelun laitteiston säätöjen vaikutuksesta energiankulutukseen ennakoituissa ympäristöolosuhteissa. Jäähdytyslaitteiston energiankulutuksen optimointi perustui siis useiden parametrien ohjaamiseen huomioiden myös ulkoiset tekijät.

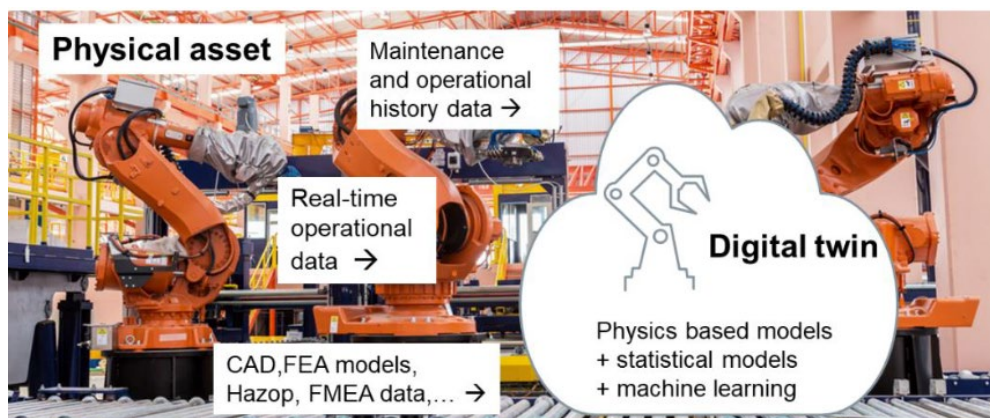
Ennakoivan kunnossapidon tapauksessa voidaan käyttää samankaltaista lähestymistapaa kuin energiaoptimoinnissa. Kunnonvalvonta-, prosessi- ja kunnossapitodatasta tunnistettiin parhaiten vikatilannetta ennakoivia muuttujia, joiden käyttäytyminen mallinnettiin neuroverkoilla. Tällöin saatiin selville, millaisissa käyttöolosuhteissa laitteisto ajautui kriittisille alueille ja miten kriittisiltä tilanteilta voitaisiin välttyä.

## Digitaalinen kaksonen

Digitaalinen kaksonen (*Digital twin*) on käsite, joka yhdistää fyysisen tuotteen ja siihen liittyvän tiedon toisiinsa. Leen (Lee ym., 2013) mukaan digitaalinen kaksonen on ikään kuin fyysisen kohteen kuva tai vastinpari digitaalisessa maailmassa. Digitaalisen kaksosen idea juontaa kuitenkin juurensa NASAn määritelmästä (Shafto et al., 2010):

*“Digital twin (DT) is an integrated multi-physics, multi-scale, probabilistic simulation of a vehicle or system that uses the best available physical models, sensor updates, fleet history, etc., to mirror the life of its flying twin.”*

Digitaalinen kaksonen voidaan luoda jo tuotteen tai järjestelmän suunnitteluvaiheessa, jolloin suunnitteluvaiheessa luotuja simulointimalleja voidaan hyödyntää käytön ja kunnossapidon tukena koko elinjakson ajan. Digitaalisen kaksosen avulla voidaan kokeilla ja ennakoida mittaustietoa hyödyntäen vaikkapa erilaisten käyttötapojen, prosessiparametrien tai muiden tekijöiden vaikutusta prosessin toimintaan reaaliajassa. Mikäli kulumista, korroosiota ja muita vikaantumiseen johtavia ilmiöitä pystytään mallintamaan, digitaalinen kaksonen voi olla myös osa ennakoivaa analytiikkaa ja auttaa ennakoivassa kunnossapidossa (Kuva 3.36).



Kuva 3.36. Fyysinen laite ja sen digitaalinen kaksonen (Kortelainen ym., 2019)

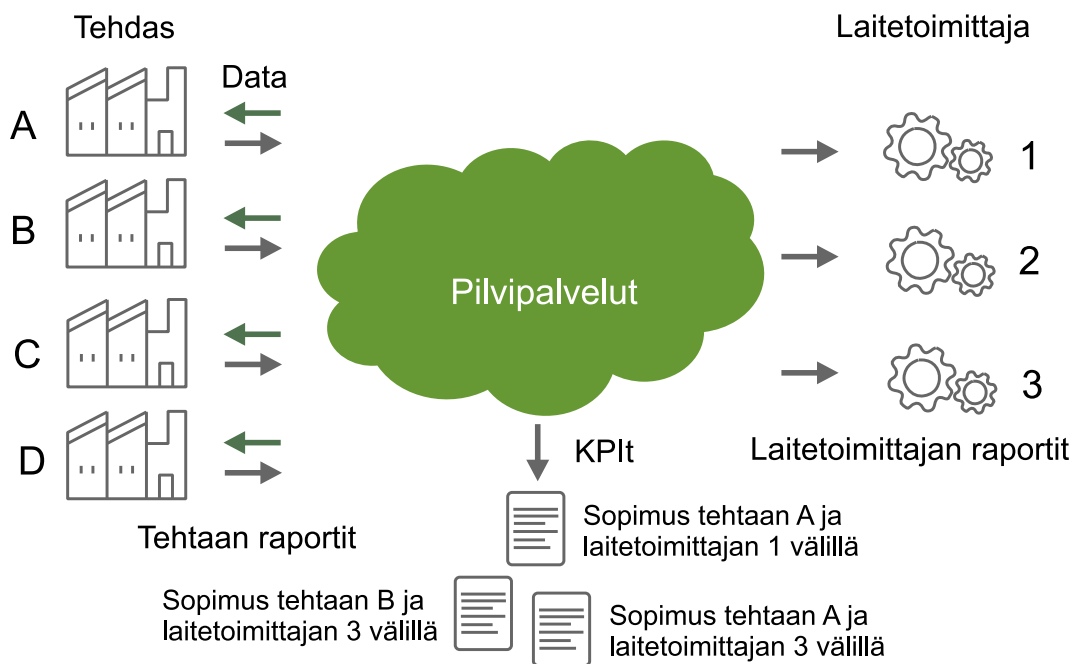
Digitaalisia kaksosia - joko staattisten tai dynaamisten - käyttö tuotesuunnittelussa on yleistynyt nopeasti. Sovelluksia kehitetään aktiivisesti myös esimerkiksi tuotantoprosessien tehostamisen tueksi. Kunnossapidon ja tuotanto-omaisuuden hallinnan tukena DT tarjoaisi merkittäviä etuja, koska sen avulla nyt hajallaan oleva elinjakso-tieto voitaisiin koota yhteen. Haasteena on kuitenkin monia, mukaan lukien tarve päivittää digitaalista tietosisältöä jatkuvasti fyysisen järjestelmän muutosten myötä. Jo käynnissä olevilla laitoksilla lähtötiedot eivät useinkaan ole koneluettavassa muodossa, tiedot ovat puutteellisia, joten digitaalisen kaksosen tuottaminen on kallista ja hankalaa. Sovelluksia on kuitenkin jo olemassa, esimerkiksi laivan potkurijärjestelmä DT, joka hyödyntää virtuaalisia antureita eli fysikaalisia malleja, ja virtuaalisia komponentteja eli suunnittelumalleja ja ennakoi odotettavissa olevaa kohteen elinikää (Räikkönen ym., 2020b)

## Tiedon jakaminen verkostossa toimijoiden välillä

Pilvipalvelut tarjoavat yhden välineen tiedonsiirtoon yritysten välillä. Pilvipalveluiden tarjoajat edustavat kolmatta osapuolta, jolla ei ole suoranaista kiinnostusta datan varsinaiseen sisältöön, mutta oman liiketoiminnan jatkuvuuden kannalta voimakas intressi varmistaa datan luottamuksellisuus. Pilvipalvelun tarjoaja vastaa tiedon jakamisesta siten, että kukin osapuoli saa nähtäväkseen vain heille määritellyt sisällöt. Esimerkiksi laitevalmistajalla on oikeus vain heidän laitteisiin liittyvään tietoon ja loppukäyttäjällä vain heidän laitostaan koskevaan tietoon. Laitetoimittajien käytösvaiheesta saamat tiedot keskittyvät vikatapahtumiin ja laitetasen seurauksiin. Keskitetty tiedonkeruu tarjoaa laite-toimittajalle paremmat mahdollisuudet saada tietoa heidän laitteiden merkityksestä asiakkaan koko tuotantojärjestelmän näkökulmasta. Yhdistäessään yksittäisten laitteiden vikaantumistiedot esim. tuotantoprosessin toimintaan laite-toimittaja saa käsityksen siitä, miten suoraan heidän toimittamiensa laitteiden vikaantuminen vaikuttaa tuotantoprosessin tehokkuuteen ja tuotannon määrään. (Kunttu ym., 2016; Kortelainen ym., 2017)

Verkostoitunut toimintaympäristö tuo oman lisähaasteensa laite-toimittajien tiedonsaantiin. Laitetoimittajien asiakkaat ovat tyypillisesti laajempia järjestelmiä tarjoavat järjestelmätoimittajat, joiden asiakkaita loppukäyttäjät ovat. Suoran yhteyden puuttuessa laite-toimittajien ja loppukäyttäjien väliltä tietojen saanti laitteiden käytön ajalta on vaikeaa. Pilvipalvelut mahdollistavat laite-toimittajille paremmat mahdollisuudet käytönaikaisen tiedon saantiin, vaikka suoraa suhdetta loppukäyttäjään ei olisikaan.

Helpomman tiedon jaon lisäksi yhteen paikkaan kerättyä tietoa voidaan hyödyntää mm. arvioitaessa sopimusehtojen täyttymistä. Sopimuksissa määriteltyjen tunnuslukujen, kuten käytettävyyden tai kokonaistehokkuuden, arvot ovat riippuvaisia käytettävästä aineistosta ja tunnusluvun määritelmästä. Yhteen paikkaan kerätystä aineistosta raportoidut tunnusluvut voivat osaltaan vähentää epäselvyyksiä arvioitaessa sopimusehtojen täyttymistä.



Kuva 3.37. Pilvipalveluihin pohjautuva tiedon jakamisen konsepti (Kunttu ym., 2016, Kortelainen ym., 2017)

Kuvassa (Kuva 3.37) esitetyn konseptin mukaisesti keskitetty tiedonkeruu tarjoaa useita nykykäytäntöjä yksinkertaisemman välineen tietojen siirtoon eri toimijoiden välillä. Keskitetty tiedonkeruu tarjoaa monia etuja, mutta käytännön toteutuksen näkökulmasta myös riskejä, joista eri toimijoiden tulee olla tietoisia voidakseen arvioida saatavien hyötyjen merkitystä riskeihin verrattuna. Eri-tyisesti loppukäyttäjien, jotka ovat tiedon toimittajia, tulee arvioida, milloin tieto heidän näkökulmasta on kriittistä sekä kuinka suuresta tietomassasta voi muodostaa heille kriittistä tietoa, vaikka

yksittäiset muuttujat eivät kriittisiä olisikaan. Vastaavasti laitetoimittajien on hyvä arvioida voiko pilveen kerääntyvä tietomassa muodostua kriittiseksi heidän liiketoiminnan kannalta. Tiedon toimittamiseen liittyvät riskit on hyvä tunnistaa ja arvioida, mutta niitä ei toisaalta ole syytä liioitella.

## Keskeiset opit

- Koneoppimisen ratkaisut mahdollistavat yhteyksien ja syy-seuraus suhteiden havaitsemisen, joita ei muilla menetelmillä saataisi selville. Koneoppimisella on monia sovelluksia esimerkiksi järjestelmien suorituskyvyn optimoinnissa ja kuntoon perustuvassa sekä ennakkoivassa kunnossapidossa
- Digitaalinen kaksonen (DT) yhdistää fyysisen tuotteen ja siihen liittyvän tiedon toisiinsa
- DT:n avulla voidaan simuloida erilaisten käyttötapojen, prosessiparametrien tai muiden tekijöiden vaikutusta prosessin toimintaan reaaliajassa.
- Digitalisaatio mahdollistaa tiedon jakamisen yhteistyöverkostoissa. Yli järjestelmärajojen ulottuvat optimointiratkaisut edellyttävät teknologian lisäksi eri toimijoiden yhteistyötä, jossa teknologia-, data-, ja ilmiöosaaminen yhdistetään eri järjestelmätasoilla.
- Tiedon jakamisen esteet liittyvät useimmin luottamukseen ja liiketoiminnan tavoitteisiin kuin teknisiin kysymyksiin.

## LÄHTEET

- ISO 55002 (2018) Omaisuudenhallinta. Hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001:2014 soveltamisesta. International Organization for Standardization.
- Ackoff, R. (1989) From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, Vol. 16, No. 1, pp. 3–9.
- Ackoff, R. L. (1999) *Ackoff's Best*. New York: John Wiley & Sons, pp. 170 – 172
- Ahonen, T. (2005) Eri tietolähteiden käyttö kunnossapidon tukena. Kunnossapito ja prognostiikka. Prognos vuosiseminaari 2005. VTT Symposium 239. VTT Tuotteet ja tuotanto. pp. 5-16.  
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/symposiums/2005/S239.pdf>
- Ahonen, T. & Reunanen, M. (2009) Elinkaaritiedon hyödyntäminen teollisen palveluliiketoiminnan kehittämisessä. Fleet asset management -hankkeen työraportti 2. Espoo 2009. VTT Working Papers 136. 62 s. + liitt. 8 s. <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/workingpapers/2009/W136.pdf>
- Ahonen, T., Hanski, J., Uusitalo, T., Kunttu, S., Valkokari, P., & Kortelainen, H. (2018). *Smart asset management as a service*. VTT Technical Research Centre of Finland.  
[https://www.researchgate.net/publication/325285755\\_Smart\\_asset\\_management\\_as\\_a\\_service\\_Deliverable\\_20](https://www.researchgate.net/publication/325285755_Smart_asset_management_as_a_service_Deliverable_20)
- Ahonen, T., Jännes, J., Kunttu, S., Valkokari, P., Venho-Ahonen, O., Välisalo, T., Ellman, A., Hietala, J-P., Multanen, P., Mäkiranta, A., Saarinen, H., & Franssila, H. (2012) Käyttövarmuuden hallinta – standardista käytäntöön. Espoo 2012. VTT Technology 69. 73 s. + liitt. 3 s.  
<https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2012/T69.pdf>
- Antonoglou, I., Fidjeland, A. K., Wierstra, D., King, H., Bellemare, M. G., Legg, S., Mnih, V. (2015) Human-level control through deep reinforcement learning. *Nature*, 518(7540), 529–533.
- Backman, J., Väre, J., Främling, K., Madhikermi, M. & Nykänen, O. (2016) IoT-based Interoperability Framework for Asset and Fleet Management. 21st IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA 2016, 6-9. Syyskuuta 2016, Berliini, Saksa.
- Bergman E. (1998) Vikatiedon tilastollinen analyysi. Sensuroinnin vaikutus Weibull-mallien estimoinnissa. Espoo 1998. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Julkaisuja 831. 153s.
- Bishop, C.(2006) *Pattern recognition and machine learning*. Springer. New York. 738 p.
- Bohoris, G. (1996) Trend testing in reliability engineering. *International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol.13, No. 2, pp. 45-54.
- Baybutt, P. (2018) The validity of engineering judgment and expert opinion in hazard and risk analysis: The influence of cognitive biases. *Process Safety Progress*, Vol. 37, No. 2, 205–210.  
<https://doi.org/10.1002/prs.11906>
- Chennamaneni, A. & Teng, J. (2011) An integrated framework for effective tacit knowledge transfer. 17th Americas Conference on Information Systems 2011, AMCIS 2011, pp. 2471 - 2480.
- Främling, K. & Rabe, L. (2006) Enriching product information during the product lifecycle, 12th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM), Saint-Etienne, France, May 17–19, 2006.
- Hanski, J., Ahonen, T., Uusitalo, T., Vainio, H. & Valkokari, P. (2019) Smart Asset Management: Stories from the World of Digital Services. SmartAdvantage-projektin Deliverable 3.0. Saatavissa:



- [https://www.researchgate.net/publication/335161420\\_Smart\\_Asset\\_Management\\_Stories\\_from\\_the\\_World\\_of\\_Digital\\_Services](https://www.researchgate.net/publication/335161420_Smart_Asset_Management_Stories_from_the_World_of_Digital_Services). Hanski, J., Vainio, H., Uusitalo, T., Hellman, J. & Hiekkalahti, H. (2018) Koneoppiminen tuo älyä energiaoptimointiin ja huollon palveluihin. Promaint. No 3, pp. 34-36.
- Høyland, A. & Rausand, M. (2009) System Reliability Theory - Models and statistical Methods. Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics Section. John Wiley & Sons Inc.
- IEC 60300-3-2 (2005) Dependability management – Part 3-2: Application guide –Collection of dependability data from the field, International Electrotechnical Commission Std., 2005.
- Iheukwumere-Esotu, L. O. & Yunusa Kaltungo, A. (2020) Assessment of Barriers to Knowledge and Experience Transfer in Major Maintenance Activities. *Energies*, Vol. 13, No. 7, 1721. <https://doi.org/10.3390/en13071721>
- ISO 10303-1 (1994) Industrial automation systems and integration –Product data representation and exchange –Part 1: Overview and fundamental principles. Standard.
- ISO 10303-11 (2004) Industrial automation systems and integration –Product data representation and exchange –Part 11: Description methods: The EXPRESS language reference manual. Standard.
- ISO 10303-28 (2007) Industrial automation systems and integration –Product data representation and exchange –Part 28: Implementation methods: XML representations of EXPRESS schemas and data, using XML schemas. Standard.
- IEC 60300-3-2 ed2.0 (2004) Dependability management - Part 3-2: Application guide - Collection of dependability data from the field. Standard.
- Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015) Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. *Science*, 349(6245), 255–260.
- Juhanko J, (toim.) Jurvansuu M, (toim.) ym. (2015) Suomalainen teollinen internet – haasteesta mahdollisuudeksi. Taustoittava kooste. ETLA raportit No 42. <https://www.etla.fi/julkaisut/suomalainen-teollinen-internet-haasteesta-mahdollisuudeksi-taustoittava-kooste/>
- Kortelainen, H., Kupila, K., Silenius, S. & Päivike, A. (2003) Data for better maintenance plans and investments policy. *Tappi Journal*, Vol. 2, No. 8, s. 8–12.
- Kortelainen, H, Kunttu, S, Valkokari, P & Ahonen, T. (2014) Asset management decisions: Based on system thinking and data analysis. In *Engineering Asset Management: Systems, Professional Practices and Certification*. Springer, Lecture Notes in Mechanical Engineering, vol. 19, pp. 1083-1093, 8th World Congress on Engineering Asset Management, WCEAM 2013 and the 3rd International Conference on Utility Management and Safety, ICUMAS, Hong Kong, China, 30/10/13. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09507-3\\_92](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09507-3_92)
- Kortelainen, H., Kortelainen, J., Pulkkinen, A., Juhola, A., Hemming, B., Kantorovitch, J., Heikkilä, E., Ailisto, H. & Heilala, J. (2019) *Data typology in manufacturing industries*. VTT Research Report, no. VTT-R-01136-19, VTT Technical Research Centre of Finland. <https://cris.vtt.fi/en/publications/data-typology-in-manufacturing-industries>
- Kortelainen, H., Hanski, J., Kunttu, S., Kinnunen, S.-K. & Marttonen-Arola, S. (2017) *Fleet service creation in business ecosystems - from data to decisions: Fleet information network and decision-making*. VTT Technology, no. 309, VTT Technical Research Centre of Finland. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T309.pdf>
- Kortelainen, H. (2019) Life cycle management and engineering. Kurssiaineisto. Tampereen yliopisto
- Kunttu, S, Ahonen, T & Kortelainen, H. (2017). Tiedon jalostusastetta nostaen parempia palveluita ja viisaampia päätöksiä. in *Teollinen internet uudistaa palveluliiketoimintaa ja kunnossapitoa*. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry., pp. 16-26. [https://tutcris.tut.fi/portal/files/10991976/teollinen\\_internet\\_kirja\\_digi.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/10991976/teollinen_internet_kirja_digi.pdf)

- Kunttu, S., Ahonen, T., Kortelainen, H., & Jantunen, E. (2016) Data to Decision: Knowledge-Intensive Services for Asset Owners. In *Proceedings of EuroMaintenance 2016* (pp. 75-83). European Federation of National Maintenance Societies (EFMNS).
- Kunttu, S., Ahonen, T., Kortelainen, H., Jantunen, E. (2016) Data to Decision - Knowledge-Intensive Services for Asset Owners. EuroMaintenance 2016, 30 May - 1 June 2016, Athens, Greece. Proceedings. EFMNS, European Federation of National Maintenance Societies (2016), 75-83.
- Laitinen, J. (2018) Life cycle management and engineering. Kurssiaineisto. Tampereen yliopisto
- Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. (2015) A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, Vol. 3, pp. 18–23.
- Lee, J., Lapira, E., Bagheri, B., Kao, H.-A. (2013) Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment, *Manufacturing Letters*. 1. pp 38–41. doi:10.1016/j.mfglet.2013.09.005
- Lee, J. H., Shin, J., & Realff, M. J. (2018) Machine learning: Overview of the recent progresses and implications for the process systems engineering field. *Computers & Chemical Engineering*.
- Nonaka, I. & Takeuchi, I. (1995) *The Knowledge-creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, Oxford University press.
- Meariam, L. (2017) Why Intel is buying car-vision company Mobileye for \$15.3B Computerworld. 13 MARCH 2017 <https://www.computerworld.com/article/3180164/why-intelis-buying-car-vision-company-mobileye-for-153b.html>.
- MIL-HDBK-2155 (1995) MILITARY HANDBOOK: FAILURE REPORTING, ANALYSIS AND CORRECTIVE ACTION TAKEN (11 DEC 1995).
- Molarius, R. (2016) Uusien tekniikoiden riskien ennakointi: Viranomaisyhteistyö rakennetun ympäristön riskien tunnistamiseksi: Väitöskirja. Doctor Degree, Tampere University of Technology (TUT), Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/science/2016/S120.pdf>
- Morris, D., Oakley, J. & Crowe, E. (2014) A web-based tool for eliciting probability distributions from experts. *Environmental Modelling & Software*. Vol.52, February 2014. pp. 1-4.
- Polanyi, M. (1966) *The Tacit Dimension*. Garden City, New York: Doubleday & Company.
- PSK 7501 (2010) Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. Key performance indicators of maintenance for use in process industry. 2. painos. 32 s.
- PSK 7102 (2008) Tehdashierarkia. PSK Standardisointiyhdistys ry. 6s.
- PSK 9101 (2018) Käyttövarmuuden hallinta. Kerättävän tapahtumahistorian vähimmäistietokentät. PSK Standardisointiyhdistys ry
- PSK 6800 (2008) Laitteiden kriittisyysluokittelu teollisuudessa. PSK Standardisointiyhdistys ry. 13s.
- Rowley, J. (2006) The wisdom hierarchy: Representations of the DIKW hierarchy. *Journal of Information Science*, Vol. 33, No. 2, pp. 163–180.
- Räikkönen, M., Kortelainen, H., Kunttu, S. & Komonen, K. (2020a) Corporate asset management - an integrated model for investment portfolio assessment. *International Journal of Strategic Engineering Asset Management*. Vol. 3, No. 4. pp. 312-328.
- Räikkönen, M., Keski-Rahkonen, J., Kortelainen, H., Tikkanen, M., Valkokari, P., Vehanen, A., & Pirttikangas, S. (2020b). Towards a Framework for Assessing the Customer Value of Digital Solutions. In *Proceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference* [4455] Research Publishing Services. <https://www.rpsonline.com.sg/proceedings/esrel2020/html/4455.xml>
- Saaksvuori, A. & Immonen, A. (2004) *Product Lifecycle Management*. Springer-Verlag. Berlin. pp. 6-7.

- SFS-EN 60300-3-2:en (2005) Dependability management - Part 3-2: Application guide - Collection of dependability data from the field.
- SFS-EN17007:en (2017). Maintenance process and associated indicators. 79s.
- SFS-EN 15341:en (2019) Maintenance Key Performance Indicators. 51s.
- SFS-EN 31010:en (2019) Risk management - Risk assessment techniques. 128s.
- Shafto, M., Conroy, M., Doyle, R., Glaessgen, E., Kemp, C., LeMoigne, J., Wang, L. (2010). DRAFT Modeling, Simulation, Information Technology & Processing Roadmap. Technology Area 11. [www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2015\\_nasa\\_technology\\_roadmaps\\_ta\\_11\\_modeling\\_simulation\\_final.pdf](http://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/2015_nasa_technology_roadmaps_ta_11_modeling_simulation_final.pdf)(visited 10.9.2019)
- Tiusanen, R., Heikkilä, E., Räikkönen, M., & Välsalo, T. (2020). System Approach to Reliability Engineering - Case: Wave Energy Converter. In P. Baraldi, F. Di Maio, & E. Zio (Eds.), eProceedings of the 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic Safety Assessment and Management Conference (ESREL2020 PSAM15) [4968] Research Publishing Services. <https://www.rpsonline.com.sg/proceedings/esrel2020/pdf/4968.pdf>
- Valkokari, P., Kunttu, S. & Ahonen, T. (2011) Kunnossapitodata tuottavassa päätöksenteossa. Promaint. Vol. 25. No 2, pp. 24-27.
- Valkokari, P., Ahonen, T., Kunttu, S. & Horn, S. (2016) Fleet-palveluiden kohdentaminen. Promaint. No 1, pp. 36-39.
- Woodhouse, J. (2018). Don't forget human psychology in asset management decisions – it's not all about data and analytics'' Key note speech in WCEAM 2018. The 13th World Congress on Engineering Asset Management. Stavanger, Norway. Sept. 24–27, 2018.
- Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K. D. (2016). Machine learning in manufacturing: Advantages, challenges, and applications. Production and Manufacturing Research, Vol. 4. No 1, pp. 23–45.

# OSA 4

## MENETELMIÄ, TYÖKALUJA, JA TEKNOLOGIOITA SEKÄ SOVELLUSESIMERKKEJÄ

# 4.1

## ENNAKOINTIMENETELMÄT TEKNOLOGIAVALINTOJEN TUKENA

*Jyri Hanski ja Anu Nousiainen*

### Johdanto

Teknologiainvestoinnit ovat hyviä esimerkkejä yritysten strategisista valinnoista. Niihin liittyy runsaasti epävarmuuksia kertyvistä kokonaiskustannuksista ja hyödyistä, elinjakson pituudesta, markkinoiden muutoksista ja uusista teknologisista edistysaskelista lähtien. Ennakointimenetelmät tukevat yrityksiä strategisiin valintoihin liittyvien vaihtoehtojen tulevaisuuksien tarkastelussa. Ennakointimenetelmien avulla yritykset voivat arvioida tarvetta teknologiainvestoinneille ja tehdä pidemmän aikavälin suunnitelmia uusien teknologioiden käyttöönottoon. Elinjakson hallintaa tukevista menetelmissä tulisi ottaa kantaa mahdollisiin markkinoissa, trendeissä ja lainsäädännössä tapahtuviin muutoksiin, jotka peilautuvat myös teknologian asiakastarpeeseen. Yleisesti käytettyjä ennakointimenetelmiä ovat muun muassa morfologinen analyysi, tiekartat (*roadmaps*), mallinnus ja simulointi sekä delfoi- ja skenaariomenetelmät. Nämä soveltuvat hyvin liiketoimintaympäristön, yhteiskunnan tai teknologisen kehityksen analysointiin.

Morfologisessa analyysissä (Zwicky, 1967) monimutkaiseen ongelmaan haetaan ratkaisua tunnistamalla kaikki mahdolliset riippuvuudet ja tekijät, jotka ongelma sisältää. Morfologista analyysissä tunnistetaan haastavaan ongelmaan liittyvät ilmiöt tai tekijät ja millaisia toteumavaihtoehtoja niillä on valitulla aikavälillä. Tyypillinen esitystapa morfologiselle analyysille on taulukko, jonka avulla luodaan vaihtoehtoisia skenaarioita yhdistelemällä taulukon soluja toisiinsa eri tavoin. Vaihtoehtoisia skenaarioita ovat esimerkiksi nykytila sekä tavoiteltava tai vältettävä tulevaisuus.

Pidemmän tähtäimen teknologisia murroksia analysoidessa voi olla mielekkäämpää keskittyä muuttamaan keskeiseen muutosvoimaan. Tällaisissa tapauksissa voidaan soveltaa esimerkiksi Schoemakerin ja Mavaddatin (2000) esittelemää skenaariomenetelmää. Tässä menetelmässä tunnistetaan lista tulevaisuuteen vaikuttavista muuttujista ja asetetaan ne nelikenttään muuttujien epävarmuuden ja vaikutuksen mukaan. Näistä valitaan analyysin kohteeksi ne muuttujat, joilla on suurin vaikutus ja epävarmuus. Tämän jälkeen arvioidaan muuttujien riippumattomuutta toisiinsa ja keskenään riippumattomien muuttujien avulla rakennetaan erilaisia skenaariomatriiseja (Kuva 4.1).

Liiketoimintamalli		
	Pieni muutos	Radikaali muutos
Datan omistajuus	Pieni muutos <ul style="list-style-type: none"> <li>Suljettu data</li> <li>Toimijoiden omat liiketoimintamallit</li> <li>Esim. Toimijat kehittävät liiketoimintoja kuten tänäänkin</li> </ul>	Radikaali muutos <ul style="list-style-type: none"> <li>Suljettu data</li> <li>Liiketoimintaekosysteemin symbioosissa olevat liiketoimintamallit noudattaen kierto/alustatalouden periaatteita</li> <li>Esim. Ekosysteemit eivät jaa tietoa ulkopuolelle, mutta tavoittelevat kiertotalouden periaatteita</li> </ul>
	Radikaali muutos <ul style="list-style-type: none"> <li>Avoin data</li> <li>Toimijoiden omat liiketoimintamallit</li> <li>Esim. OREDA-toiminta Norjan öljynporauksessa (regulaatioon perustuva)</li> </ul>	Radikaali muutos <ul style="list-style-type: none"> <li>Avoin data</li> <li>Liiketoimintaekosysteemin symbioosissa olevat liiketoimintamallit noudattaen kierto/alustatalouden periaatteita</li> <li>Esim. Ekosysteemit jakavat läpinäkyvästi tietoa myös ulkopuolelle ja toimivat kiertotalouden mukaisesti</li> </ul>

Kuva 4.1. Esimerkki skenaariomenetelmästä: vaihtoehtoiset kehityssuunnat älykkäiden kaupunkien kehitykselle

Delfoi on monivaiheisiin asiantuntija-arvioihin pohjautuva ennakkointimenetelmä (Rowe ja Wright 1999). Menetelmässä samalle asiantuntijapaneelille esitetään kyselyitä, jotka tarkentuvat kierros kierrokselta asiantuntijoiden kommenttien ja arvioiden perusteella. Tavoitteena on joko konsensuksen tai laajemman ymmärryksen saavuttaminen tutkittavasta ilmiöstä. Delfoi on toteutukseltaan vaativa menetelmä, jonka onnistuminen riippuu suurelta osin asiantuntijapaneelin valinnasta ja sitouttamisesta.

Mallinnusta ja simulaatiota hyödynnetään erilaisten ilmiöiden esittämisessä matemaattisessa muodossa. Niillä pyritään luomaan tarkoituksenmukainen ja yksinkertaistettu kuvaus todellisuudesta. Mallinnus ja simulointi soveltuvat tiedon tuottamiseen skenaariotyöskentelyn tueksi, monimutkaisten järjestelmien käyttäytymisen analysointiin sekä skenaarioiden testaukseen. Mallien monimutkaisuus ja työläys kuitenkin rajoittavat niiden käyttöä yrityksissä. Perinteisiä mallinnusmenetelmiä ovat esimerkiksi systeemidynamiikka, diskreettien tapahtumien mallinnus ja agenttipohjaiset mallit. Nykyisin koneoppimiseen perustuvat mallit ovat yleistyneet järjestelmän käyttäytymisen ennakoimisessa ja optimoinnissa.

## Roadmap-menetelmä

Roadmap eli tiekartta on menetelmä ennakkoinnin ja strategisen suunnittelun tukemiseen. Roadmap-menetelmässä käydään tyypillisesti läpi kolme vaihetta:

- kohteen ja aikajänteen valinta,
- vision muodostaminen ja
- roadmapin sisällön tuottaminen.

Vaikka roadmappaus on vakiintunut menetelmä, siitä on olemassa useita eri sovelluksia. Yksi esimerkki on ”backpocket roadmap” (Ahlqvist, 2007; Paasi ym., 2008), joka alkaa nykyhetken tilanteen määrittelyllä liittyen ajureihin ja pullonkauloihin, markkinoihin, asiakasarvoon, tuotteisiin ja palveluihin sekä teknologiaan (Kuva 4.2). Seuraavaksi määritellään roadmapin aikajänne ja luodaan visio ja tavoitteet valitulle aikavälille. Tämän jälkeen luodaan välitavoitteet, jotta visio ja tavoitteet saavutetaan. Roadmap-työskentelyn hyöty ei rajoitu pelkästään valmiiseen tuotokseen, vaan myös itse roadmap-prosessi lisää tekijöidensä ymmärrystä käsiteltävästä aiheesta.

	Nykyhetki ( <i>state of the art</i> )	Keskipitkä aikaväli	Pitkä aikaväli
Ajurit ja pullonkaulat			
Markkinat			
Asiakasarvo			
Tuotteet ja palvelut			
Teknologiat			

Kuva 4.2. Pohja roadmap-työskentelylle

Roadmap-työskentelyssä ennakointiin liittyy erityisesti visiointi: harppaus pitkän aikavälin tulevaisuuksiin ja halutun tulevaisuuden hahmottaminen tavoitetilaksi. Visioinnissa määritetään ensin skenaariotyöskentelystä tuttu polttava kysymys (*focal question*), joka auttaa kuvaamaan tulevaisuuden teknologioiden käyttöhetkiä (*use case, user narrative*) tietyssä ajankohdassa, tietyn toimijan näkökulmasta ja tietyssä arjen kontekstissa. Visioinnissa keskeistä on tunnistaa tulevaisuuden muutosvoimat ja ideoida niiden avulla mikä erilaisissa arkemme konteksteissa voi olla toisin.

Visiointi tarvitsee kokonaisvaltaista ja poikkitieteellistä ajattelua ja asiantuntijuutta, joten se on aina yhteiskehittämistä. Muotoilun ja ennakkoinnin lähestymistapojen yhdistäminen eli tulevaisuusmuotoilu (Ojasalo et al., 2015) auttaa organisaatioita luomaan yhteisen ymmärryksen vertailukelpoisista vaihtoehtoisista tulevaisuuksista, tunnistamaan oman roolinsa tulevaisuuden markkinoilla ja luomaan tätä tukevaa haluttua tulevaisuutta innovaatioilla ja investoinneilla. Esimerkki visiointia ja tiekarttaa tukevasta tulevaisuusmuotoilun metodista on kokemuspolku (Koskelo & Nousiainen, 2019) (Kuva 4.3). Kokemuspolku elävöittää ja pyrkii kokemuksellistamaan muutosvoimien mahdollisuuksia, visioita ja tahtotiloja kaikille ymmärrettävään muotoon empatian ja ideoinnin kautta. Menetelmässä yhdistyy ennakkoinnin tulevaisuustieto (esim. trendit, visio, skenaario) sekä muotoilun persoona-työkalu (*Persona*), palvelupolku-kanvaasi (*Journey Map*) ja ”Päivä elämässäni” -harjoitus (*A day in the life*) (Stickdorn et al., 2018).





tulevaisuudessa, jossa uudet digitaaliset teknologiat ovat arkipäivää. Osallistujat kertoivat ja kirjoittivat tarinaa täydellisestä päivästä, jossa kaikki on mahdollista. Tarkasteltavia näkökulmia oli kaksi: huoltohenkilö ja päätöksentekijä. Osallistujat kuvasivat tulevaisuuden työpäivää kentällä ja päätöstilanteita. Tämän kuvauksen pohjalta he arvioivat, mitä asioita ja ratkaisuja tarvitaan, jotta kuviteltu päivä toteutuisi. Lopuksi pohdittiin, miten ratkaisu voidaan toteuttaa ja mitä mahdollisia tekijöitä tarvitaan.

RATKAISUT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monipuolinen päätöksenteon tuki huoltohenkilölle ja päätöksentekijälle</li> <li>• Data-analytiikka ml. Koneoppimisratkaisut ja erilaisten tietolähteiden yhdistäminen</li> <li>• Tietojärjestelmäratkaisut ml. datan jako ja työnohjaus/resurssien tehokas kohdentaminen</li> <li>• Huoltohenkilön (ja päätöksentekijän) tukeminen etänä digitaalisilla ratkaisuilla</li> <li>• Järjestelmien päivittämisen automatisointi ja tukeminen</li> </ul>
TÄYDELLINEN PÄIVÄ TULEVAISUUDEN ELÄMÄSSÄ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oikeanlaisen ja luotettavan datan saatavuus vaivattomasti huoltohenkilölle ja päätöksentekijälle</li> <li>• Riskiperusteinen kunnossapito sekä kunnossapitotoimien suunniteltavuus ja ennakoitavuus</li> <li>• Tarve vaivattomalle ja reaaliaikaiselle kommunikoinnille keskeisten kunnossapitotöiden tilaukseen, suunnitteluun ja toteuttamiseen osallistuvien toimijoiden kesken</li> </ul>
MAHDOLLISTAJAT
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datan kokonaisvaltainen hallinta (keräys, käsittely, analysointi, varastointi, hyödyntäminen)</li> <li>• Data-analytiikan kehitys ja analytiikkaosaaminen</li> <li>• IoT-ratkaisut</li> <li>• Verkostoyhteistyö ja uudet toimintamallit</li> <li>• Toimivat esimerkit ratkaisuista</li> </ul>

Kuva 4.4. Tulevaisuuden kunnossapitoratkaisuja älykkääseen sähköverkkoon

Kokemuspolku-menetelmällä tunnistettiin keskeisiä teknologiavalintaan liittyviä tekijöitä, joiden avulla elinjakson hallintaan liittyviä ratkaisuja voidaan kohdentaa ja priorisoida. Menetelmä tukee rajallisten kehitys- ja investointiresurssien kohdentamista, muiden menetelmien rinnalla.

## Keskeiset opit

- Ennakointimenetelmät tukevat elinjakson hallinnan kehittämistä
- Roadmap-menetelmillä voidaan suunnitella tulevaisuuden teknologiainvestointeja
- Kokemuspolku-menetelmä huomioi keskeisten käyttäjäprofiilien roolin teknologiavalintojen suunnittelussa

## 4.2

### KÄYTTÖVARMUUDEN ANALYSOINTI TUOTEKEHITYSPROSESSIN KONSEPTIVAIHEESSA

*Tero Välisalo*

Konseptivaiheen riskianalyysi voidaan toteuttaa erilaisilla yksityiskohtaisuuden tasoilla, joka vaikuttaa yksittäisten menetelmien sovelluksiin ja analyysin toteutustapaan sekä riskianalyysimenetelmien valintaan. Riskianalyysikokonaisuus voi myös koostua useamman toisiaan täydentävän menetelmän käytöstä.

Riskianalyysimenetelmän valintaan vaikuttavat keskeisesti käytettävissä olevat resurssit: osaaminen, aika- ja muut rajoitteet sekä budjetti. Järjestelmän varhaisessa kehitysvaiheessa voidaan käyttää vähemmän yksityiskohtaisia menetelmiä siten, että analyysija tarkennetaan sitä mukaa, kun enemmän tietoa on käytettävissä. Teknisten järjestelmien riskianalyysija - ja riskianalyysimenetelmien valintaa - käsitellään yksityiskohtaisemmin standardissa SFS-EN IEC 31010:2019, *Riskien hallinta. Riskien arviointimenetelmät*.

Teknisten järjestelmien riskianalyysimenetelmistä vika- ja vaikutusanalyysi (*Failure Modes and Effects Analysis, FMEA; Failure Modes, Effects and Criticality Analysis, FMECA*) sovelluksineen on tyypillinen tuotekehityksen yhteydessä käytettävä menetelmä. Vika- ja vaikutusanalyysin tekemistä käsittelee standardi IEC 60812:2018. Menetelmän tavoitteena on tunnistaa merkittävät käyttövarmuuteen ja turvallisuuteen liittyvät riskit mahdollisimman aikaisin ja alustavasti kehittää keinoja riskien hallintaan. Varsinaisten parannustoimenpiteiden toteutus on kuitenkin tavanomaista suunnittelutyötä, analyysin aikana pyritään ainoastaan tunnistamaan kehityskohteet.

Riskianalyysi voi perustua tarkasteltavan järjestelmän toimintoihin sen sijaan, että lähtökohtana olisi järjestelmän tekninen rakenne ja komponentit. Konseptivaiheessa ei yleensä ole vielä kovin tarkkaa kuvaa järjestelmän yksityiskohdista ja komponenttivalinnoista, mutta järjestelmän toteuttamaksi tarkoitetut toiminnot ovat jo tiedossa. Konseptivaiheen riskianalyysin yhtenä tavoitteena onkin tuottaa parempaa tietoa esimerkiksi komponenttien tai eri teknologioiden valinnan tueksi. Lisäksi keskeistä on, että analyysi kiinnittää työryhmän huomion suunnitteilla olevan järjestelmän kriittisimpiin kohteisiin, joihin yksityiskohtaisemmassa suunnittelussa tulee erityisesti panostaa.

Konseptivaiheen riskianalyysi pitää sisällään piirteitä toiminnallisesta vika- ja vaikutusanalyysista, jossa kiinnitetään huomiota tarkasteltavien toimintojen ja laitteiden vikoihin ja häiriöihin, vikojen ja häiriöiden seurauksiin sekä ehkäiseviin toimenpiteisiin ja varautumiskeinoihin. Konseptivaiheen riskianalyysissa otetaan huomioon laajasti järjestelmän elinjaksoon kohdistuvat riskit, joihin suunnittelussa voidaan vaikuttaa.

Analyysin tärkein tehtävä on tunnistaa merkittävimmät riskitekijät ja määrittää toimenpiteitä niiden poistamiseksi tai seurausten vähentämiseksi. Yksi keskeisimmistä riskianalyysin tuloksista on lisääntynyt ymmärrys järjestelmän kriittisistä toiminnoista, joiden suunnitteluun voidaan uuden tiedon perusteella panostaa suhteellisesti enemmän. Analyysissa tunnistettujen parannustoimenpiteiden toteutus on tavanomaista suunnittelutyötä.

Konseptivaiheen riskianalyysi toteutetaan työryhmässä, jonka kokoonpanoa voidaan työkokouksittain tarkistaa valitun järjestelmän osan ja teeman mukaisesti. Keskeistä on eri näkökulmien, osaamisen ja kokemuksen hyödyntäminen analyysissa. Analyysin vetäjän tehtävä on varmistaa, että

kaikkien analyysin tekoon osallistuvien henkilöiden osaaminen hyödynnetään täyspainoisesti. Huomio kohdistetaan seuraaviin asioihin:

- Toiminto: kuvataan toiminto edellisessä vaiheessa laaditun järjestelmän toiminnallisen kuvauksen perusteella. Määritellään lisäksi, mikäli suunnittelun vaihe huomioiden mahdollista, mitkä osajärjestelmät tai komponentit ovat toteuttamassa tarkasteltavaa toimintoa.
- Toiminnallinen vika/häiriö/ongelma ja sen mahdolliset juurisyyt tunnistetaan ja kuvataan.
- Kuvaillaan, miten vika on mahdollista havaita, sekä määritellään, miten syntynyt ongelma on mahdollista poistaa, vika korjata tai ehkäisevän kunnossapidon keinoin vähentää syntymisen todennäköisyyttä.
- Arvioidaan seuraukset tarkoituksenmukaisella tasolla, esim. vaikutus tuotantoprosessin toimivuuteen tai käyttökustannuksiin.
- Määritellään toimenpiteet seurausten tai todennäköisyyden pienentämiseksi, merkitään esille tulevia ideoita testisuunnitelman laadinnan tueksi sekä kirjataan mahdolliset muut huomiot.
- Määritellään vastuutaho, joka vastaa suunnitellun toimenpiteen toteutuksesta, huolehtii toimenpiteiden suunnittelusta tai muutoin huomioi tunnistetun ongelman toiminnassaan.

Riski määritellään tyypillisesti tapahtuman seurausten ja todennäköisyyden funktiona. Johtuen konseptivaiheeseen liittyvästä suuresta epävarmuudesta ja tiedon vähäisyydestä, luotettavaa todennäköisyyden arviointia ei ole realistista toteuttaa. Tästä johtuen konseptivaiheen riskianalyysissä keskitytään ainoastaan riskiskenaarioiden vaikutusten arviointiin ja keskeisimmät kehityskohteet valitaan ja toimenpiteet suunnitellaan tämän tiedon perusteella. Riskienhallinnan kannalta on myös tärkeää suunnitella, miten tehtyjen toimenpiteiden vaikutuksia seurataan.

Riskianalyysin dokumentointi tulee laatia siten, että analyysia jälkikäteen tarkasteltaessa kaikilla on mahdollisuus ymmärtää paitsi tunnistetut riskiskenaariot, myös vaikutusten arvioinnissa ja toimenpiteiden suunnittelussa käytetyt perusteet. Tästä johtuen dokumentoinnin laatuun ja myös yksityiskohtaisuuteen on kiinnitettävä huomiota. Esimerkiksi tarvittaessa analyysin päivittämisen tai tulosten tehokkaan hyödyntämisen onnistuminen riippuu dokumentaation tasosta. Analyysin keskeisimmät havainnot ja erityisesti toimenpiteet on hyödyllistä koota omaksi dokumentikseen, jotta sekä suunnitteluryhmällä että ulkopuolisella asiantuntijalla on mahdollisuus nopeasti saada kokonaisymmärrys analyysin tuloksista.

## Käyttövarmuuden hallinta tuotekehitysprojektissa

Usein tuotekehitysprojekteissa kehitettävän tuotteen taustalta löytyy edellisen sukupolven kone-/laitemalli, johon uudessa projektissa lisätään uusia tuoteominaisuuksia tai tehdään muita parannuksia. Tällaisessakin projektissa voi tulla eteen haasteita, joiden tunnistaminen varhaisessa vaiheessa on tarpeen ongelmien välttämiseksi jatkossa. Tärkeintä tällaisessa tuotekehitysprojektissa kuitenkin on se, että kehitystyötä tehdään hallitusti ja mahdolliset panostukset esimerkiksi käyttövarmuuden kehittämiseksi ovat perusteltavissa.

## Toiminnallinen kuvaus: SADT ja IDEF

Eräs vaihtoehto tuotekehitysprojektin käyttövarmuuden hallinnan rungoksi on toiminnallinen kuvaus. Toiminnallinen kuvaus laaditaan, jotta projektin jäsenille syntyy yhteinen ymmärrys tarkasteltavan järjestelmän toiminnoista. Toisaalta toimintojen dokumentoituja kuvauksia voidaan hyödyntää myöhemmin toteutettavan toiminnallisen riskianalyysin lähtökohtana. Koska konseptivaiheen riskianalyysi pohjautuu rakenteeltaan komponenttilähtöisyyden sijaan järjestelmän toimintojen analysointiin, toiminnallinen kuvaus muodostaa analyysin selkärangan. Toiminnallisen kuvauksen laadinta tuottaakin konseptivaiheen riskianalyysin kannalta keskeisenä tuloksena listauksen niistä toiminnoista, jotka kohdejärjestelmää käytettäessä suoritetaan.

Riippuen järjestelmän toiminnan ja käytön luonteesta käyttäjän (kuluttaja, operaattori, kuljettaja) ja järjestelmän toiminnan suhde on hyvä saada sisällytettyä kuvaukseen. Toimintojen kuvaamiseen

käytettäviä menetelmiä on olemassa useita eri tilanteisiin. Erilaisten järjestelmien kuvaamiseen soveltuva ja alun perin ohjelmistokehitykseen kehitetty menetelmä on SADT<sup>7</sup> (*Structured Analysis and Design Technique, SADT*) ja siihen perustuva IDEF0<sup>8</sup> (*Integration Definition for Function Modeling, IDEF*) -mallinnusmetodologia. IDEF0-periaatteet soveltuvat sekä suunnitteilla oleville uusille järjestelmille, joille keskeistä on määrittää vaatimuksia toiminnoille, että vanhoille järjestelmille, joiden toimintoja ja toimintojen välisiä riippuvuuksia halutaan mallintaa ja analysoida.

SADT-pohjainen mallinnustapa antaa parhaimman lopputuloksen, kun kohdejärjestelmän kokonaistoiminta muodostuu eri toimintojen sarjasta jatkuvana prosessina ja toimintojen keskinäiset riippuvuussuhteet pysyvät toiminnan kuluessa pääosin staattisina. SADT-mallinnustapaa ja periaatetta hyödyntämällä ja kuvaustavan sisään- ja ulostuloja muokkaamalla voidaan kuvata luonteeltaan erilainen, toiminnoiltaan keskenään monimutkaisemmin kytköksissä oleva järjestelmä. Sen sijaan tarkasteltaessa järjestelmää, jonka toiminnan aikana eri osajärjestelmät ovat keskenään vuorovaikutussuhteessa eri tavoin ja eri ajoin sekä kuvattavana kohteena on esimerkiksi myös signaaliliikenteen mallintamista edellyttävä tietotekninen ratkaisu, vaaditaan mahdollisesti tavoitteesta riippuen rakenteeltaan erilainen mallinnustapa.

Tärkeintä on, että kuvaus tuottaa riittävän selkeän, yhteisen kuvan kohdejärjestelmän toiminnasta analyysin pohjaksi. Yksinkertaisimmillaan toiminnallinen kuvaus voi olla luetelmaviivoin tehty listaus järjestelmän toiminnoista. Tämä tapa saattaa joissakin tapauksissa tuottaa tarvittavan tarkkuuden riskianalyysin pohjaksi nopeasti resursseja säästäen.

Toiminnallisuuksien kautta saadaan tunnistettua inkrementaalisessa kehitystyössä eteen tulevat uudet haasteet ja rajapinnat, jotka voivat aiheuttaa ongelmia, vaikka uusi kokoonpano rakennettaisiinkin jo toisissa applikaatioissa tutuksi tulleista komponenteista. Toiminnallisen kuvauksen avulla tunnistetuille epävarmuutta aiheuttaville kohteille voidaan määrittää toimenpiteitä, joilla epävarmuus voidaan joko kokonaan poistaa tai sitä voidaan oleellisesti pienentää.

Toimenpiteiden kirjo voi olla laaja. Usein käyttövarmuutta palveleviksi toimenpiteiksi luetaan ainoastaan tietyt riskianalyysimenetelmät, joita ne tietysti ovatkin, mutta monet muutkin tehtävät tuotekehitysprojektissa palvelevat lopputuotteen käyttövarmuuden kehittymistä. Tällaisia ovat esim. lukuuslaskennat, komponenttitoimittajayhteistyö tai testausohjelmien laadinta. Tärkeintä on, että jos tuotekehitysprojektiin valitaan jotain erityisiä toimenpiteitä, ne ovat selkeästi perusteltavissa ja niiden tuotoksia käytetään hyväksi suunnitteluratkaisuja tehtäessä.

## Case: käyttövarmuuden hallinnan menetelmä tuotekehitysprojektissa

RelSteps -tutkimushankkeen puitteissa ja Sandvik Mining and Constructionin kanssa yhteistyössä tehdyssä case-tutkimuksessa testattiin kevyttä menettelyä tuotekehitysprojektin käyttövarmuuden hallintaan. Haasteena oli se, että aiemmin käytetyt käyttövarmuuden analysointimenettelyt vaikuttivat liian raskailta Sandvikin tuotekehitysprojektien käyttöön.

Casen alussa laadittiin Sandvikin tuotekehitysprojektin kohteesta toiminnallinen kuvaus, johon kirjattiin ko. laitteen toiminnot ja niiden toimintojärjestys tavanomaisessa tuotantoprosessissa. Toimintokuvaus käytiin tarkasti läpi Sandvikin valitseman asiantuntijaryhmän kanssa. Läpikäynnin aikana tunnistettiin sekä kokonaan uusia toimintoja tai muuten käyttövarmuuden kannalta epävarmoja kohteita ja niille mahdollisia ratkaisuvaihtoehtoja tai lisäselvitystarpeita. Asiantuntijoiden käytyä omilta teknisiltä osaamisalueiltaan läpi toiminnallisen kuvauksen, VTT:n tutkijat ehdottivat jatkotoimenpiteitä. Jatkotoimenpide-ehdotukset otettiin esiin projektin ohjausryhmässä ja suurimmalle osalle tarkempaan käsittelyyn viedyistä havainnoista löydettiin toteutettavissa olevia parannustoimenpiteitä. Yhtenä jatkotoimenpiteenä VTT teki eräälle valitulle uudelle komponenttityypille vika-vaikutusanalyysin, jossa tunnistettiin uuden komponentin mahdolliset vikamuodot ja sen vaikutukset Sandvikin sovelluksessa.

---

<sup>7</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Structured\\_analysis\\_and\\_design\\_technique](https://en.wikipedia.org/wiki/Structured_analysis_and_design_technique)

<sup>8</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/IDEF0>

Toiminnalliseen kuvaukseen perustuva käyttövarmuuden hallinnan menettely tuotekehitysprojektissa toimi esimerkkitapauksesta saatujen kokemusten perusteella varsin hyvin. Kuvaus on uudelleenkäytettävissä seuraavan tuotekehitysprojektin pohjana, eli työmäärä käyttövarmuuden hallinnan menettelyiden tekemiseen seuraavassa projektissa on vähäisempi. Kuvausta hyödyntämällä kohde voitiin käydä järjestelmällisesti läpi ja perustellusti kohdistaa tarkempia toimenpiteitä tietyille kohteille.

## Keskeiset opit

- Käyttövarmuuden osalta käytännössä koeteltujen ratkaisujen yksityiskohtainen analysointi ei ole kovinkaan resurssitehokasta, sillä harvoin analyysissä tunnistetaan merkittäviä uusia vikamahdollisuuksia.
- Uusissa tuotteissa aiempiin ratkaisuihin yhdistetään uusia komponentteja, tai aiemmin käytettyjä komponentteja hyödynnetään uudella tavalla tai uusina yhdistelminä. Tällöin erityisesti uusien yhdistelmien tai ratkaisujen rajapinnoissa voi ilmetä ongelmia.
- Toiminnallisen kuvauksen avulla voidaan tunnistaa tällaiset epävarmuutta aiheuttavat rajapinnat ja suunnata käyttövarmuutta varmistavat toimenpiteet niihin.
- Case-tutkimuksessa tunnistettiin muutamia kohteita, joiden tarkempaan analysointiin panostettiin erityisesti, jolloin käyttövarmuutta varmistavien toimenpiteiden resurssitarvetta saatiin oleellisesti pienennettyä vähentämättä toimenpiteiden kattavuutta.

# 4.3

## KUNNOSSAPIDETTÄVYYDEN SUUNNITTELU

Tero Välisalo

### Johdanto

Kunnossapidettävyys (*maintainability*) on osa tuotteen käyttövarmuusominaisuuksia ja se määritellään standardissa IEC 60050(192) seuraavasti:

*“Ability to be retained in, or restored to a state to perform as required, under given conditions of use and maintenance”.*

Kunnossapidettävyys on siis tuotteeseen rakennettu tuoteominaisuus, kohteen kyky olla palautettavissa käyttökuntoon kunnossapitotyön jälkeen. Kunnossapito terminä kattaa määritelmässä sekä vikakorjausten (korjaava kunnossapito) että ennakkohuoltojen (ennakoiva kunnossapito) edellyttämien toimenpiteiden suorittamisen. IEC 60050(192) standardi toteaa kunnossapidettävyyden mittaamisesta seuraavalla tavalla:

*“Maintainability ( $M(t_1, t_2)$ ): probability that a given maintenance action, performed under stated conditions and using specified procedures and resources, can be completed within the time interval  $(t_1, t_2)$  given that the action started at  $t = 0$ .”*

Standardin määritelmän mukainen kunnossapidettävyyden mittaustapa keskittyy siis lähinnä aktiivisen kunnossapitotoimenpiteen suorittamiseen kuluvan ajan mittaamiseen. Kunnossapidettävyyteen liittyy kuitenkin myös muita näkökulmia:

- Vian syyn tunnistaminen:
  - Nykyisissä teknisissä järjestelmissä vikaantuminen havaitaan usein mittausten ja etäseurannan kautta. Diagnostiikka ei kuitenkaan osaa suoraan kertoa, minkä komponentin/komponenttien vikaantumisesta havaittu oire johtuu.
  - Hyvän kunnossapidettävyyden tunnusmerkkinä voidaan siis pitää myös sitä, pysyykö järjestelmä tunnistamaan ilmenneeseen oireeseen liittyvät komponentit ja siten lyhentämään vianetsintään kuluva aikaa, ts. helpottamaan vikaantuneiden komponenttien tunnistamista.
- Kunnossapitotyön tekijän osaamisvaatimukset:
  - Mikäli kunnossapitotyö vaatii erikoisosaamista tai muodollista pätevyyttä, sen suorittamiseen käytettävissä olevia resursseja on vähemmän kuin tilanteessa, jossa työ voidaan suorittaa vähäisemmin osaamisvaatimuksin.
- Kunnossapitotyön turvallisuus:
  - Järjestelmän suunnittelussa voidaan vaikuttaa siihen, miten turvallista työn suorittaminen on.
  - Esimerkkinä mainittakoon rakenteiden tai koneenosien terävät reunat, joilla ei monissa tapauksissa järjestelmän toimivuuden kannalta ole merkitystä, mutta jotka kunnossapitotyötä suoritettaessa aiheuttavat viiltovaaran työn suorittajalle.
- Tarvittavat erikoisresurssit:
  - Mikäli kohteen kunnossapitoon tarvitaan joitain erityisiä resursseja, esimerkiksi nostolaitteita tai erikoistyökaluja, jotka eivät ole yleisesti saatavilla, niiden puute saattaa vaikuttaa huomattavasti kunnossapidon viiveisiin.

- Luoksepäästävyys:
  - Varsinaisen kunnossapittoa vaativan kohteen esille saamiseksi voidaan joutua purkamaan huomattava määrä muita osajärjestelmiä.
  - Suunnittelussa voidaan vaikuttaa jossain tapauksissa hyvinkin pienillä muutoksilla siihen, miten hyvin huollettavaan kohteeseen päästään käsiksi.

Kunnossapidettävyyden parantaminen ei välttämättä vähennä vikaantumisten määrää, koska vikaantumisaika (*Time To Failure, TTF*) ei kunnossapidettävyyden kehittämisen myötä varsinaisesti muutu. Kunnossapidettävyyden parantaminen lyhentää kuitenkin kohteen toimintakelvottomuus-aikaa (*Downtime, DT*), lisää tuotantoaikaa ja siten parantaa kohteen käytettävyyttä, koska kunnossapitotyöt voidaan tehdä entistä nopeammin. Kunnossapidettävyyden kehittäminen voi epäsuorasti vähentää sekä kunnossapitotöissä tehtävien asennus- yms. virheiden määrää, että vikaantumisten määrää, koska hankalasti tehtävien ja siksi mahdollisesti kokonaan tekemättä jäävien ennakoidun kunnossapidon tehtävien määrä vähenee.

## Kunnossapidettävyydsanalyysin vaiheet

Kunnossapidettävyydsanalyysi käynnistyy kohteen määrittelyllä. Kunnossapidettävyydsanalyysin kohteen määrittely voidaan tehdä monin eri tavoin. Rajausta voi olla fyysinen, (esim. koneen tietty osa) tai kunnossapidettävyyttä voidaan arvioida esimerkiksi teknologioittain (esim. hydraulikka, mekaniikka). Kunnossapidettävyydsanalyysissa kannattaa keskittyä kohteisiin, jotka ovat uusia ja joiden kunnossapidettävyydestä ole vielä käytettävissä huolto-organisaation kautta saatua palaute-tietoa.

Varsinainen analyysi voidaan tehdä joko rajautuen vain ennakoivan kunnossapidon tehtäviin (huolto) tai korjaavan kunnossapidon tehtäviin (vikakorjaukset). Kohteesta voidaan analysoida myös molemmat em. näkökulmat. Tarkasteltavat ennakoivan kunnossapidon tehtävät saadaan listattua edellisen konemallin huolto-ohjelman perusteella tai aivan uuden järjestelmän kyseessä olleen laatimalla se esim. komponenttitoimittajien huolto-ohjelmia ja asiantuntija-arvioita hyväksikäyttäen. Korjaavan kunnossapidon tehtävien määrittämiseksi tarvitaan kohteesta vika-analyysin tulokset. Myös aiemmasta mallista tehty vika-analyysi voi olla hyödynnettävissä kunnossapidettävyydsanalyysin runkona, mikäli mallien väliset rakenteelliset erot eivät ole kovin merkittäviä.

Kun analyysin runko on olemassa, kunnossapidettävyyden kehityskohteiden tunnistaminen tehdään ryhmittäen riskianalyysin tapaan. Ennakoivan kunnossapidon tehtävät käsitellään järjestyksessä siten, että ensimmäisinä käsitellään kunnossapitotyöt, joita tehdään useimmin ja viimeisinä harvoin tehtävät työt. Näin siksi, että tuotekehitysprojektissa mahdollisten aikataulupaineiden vuoksi ainakin useimmin tehtävien töiden kunnossapidettävyyden arviointi ehditään käymään läpi. Korjaavan kunnossapidon töiden suhteen toimitaan vastaavasti: Aluksi käsittelyyn otetaan sellaisten vikaantumisten korjaustyöt, jotka vika-analyysissa on todettu useimmin ilmeneviksi ja lopuksi sellaiset, joiden tapahtuminen on harvinaista. Aivan kaikkien, erittäin harvinaisiksi todettujen vikamahdollisuuksien arviointi ei ole välttämätöntä.

Analyysiryhmässä tulee olla edustajia ainakin huollosta ja suunnittelusta sekä erillinen puheenjohtaja/sihtööri, joka johtaa analyysin tekemistä ja dokumentoi analyysiryhmän tekemät kirjaukset. Suunnittelun edustajalla tulee olla hyvä kokonaisnäkemys kehitettävästä tuotteesta, jotta mahdolliset muutostarpeet voidaan ottaa jo suunnittelun varhaisessa vaiheessa huomioon. Huollon edustajalla tulee olla omakohtaista kokemusta kenttähuollon tekemisestä. Analyysin tekemisessä oleellista osaa näyttelevät kohteen 3D-kuvat, joiden olemassaolo on kunnossapidettävyyden eri näkökulmien hahmottamisen kannalta oleellista. Myös komponenttitoimittajien dokumentaatio pitää olla laajasti analyysitilanteessa käytettävissä uusien komponenttien huoltotavan määrittämiseksi jne.

Analysointi keskittyy kunnossapitotöiden kriittisyyden arviointiin eri näkökulmista. Nämä näkökulmat sekä ennakoivan että korjaavan kunnossapidon osalta ovat:

- huoltotyön suorittamisen turvallisuus
- luoksepäästävyys
- työn vaativuus
- erikoistyökalujen tarve

## Kunnossapitotöiden osatekijöiden arviointi

Korjaavan kunnossapidon analyysissä voidaan arvioida lisäksi vian syyn tunnistettavuutta, eli miten yksiselitteisesti koneen toiminnassa näkyvät oireet johtavat ko. vian tunnistamiseen ja korjaamiseen. Myös kunnossapitotyön ergonomisia seikkoja, lähinnä työskentelyasentoa, voidaan arvioida, mutta useimmissa tapauksissa kunnossapitotyö on ajallisesti niin nopea tehdä tai se tehdään niin harvoin, ettei hankalasta työskentelyasennosta ole suurta haittaa. Työskentelyasennossa mahdolliset ongelmat voidaan tuoda esiin turvallisuuden arvioinnissa. Kaikki näkökulmat arvioitiin kolmiportaisella asteikolla. Luokittelussa käytetyt asteikot on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 4.1).

*Taulukko 4.1. Kunnossapitotöiden eri osatekijöiden arviointiasteikko*

	Vian syyn tunnistettavuus	Turvallisuus	Luoksepäästävyys	Työn vaativuus	Erikoistyökalujen tarve
3	Vian syy voidaan tunnistaa ainoastaan kokeilemalla ja sen tunnistaminen vie tyypillisesti kauan aikaa.	Huoltotyön turvallinen suorittaminen on käytännössä hyvin vaikeata, työn tekemiseksi on otettava riskejä.	Huoltokohteeseen pääsemiseksi tarvitaan huomattavaa rakenteiden purkamista / näkyvyys on estynyt	Huoltotyön tekeminen vaatii pitkää kokemusta ja/tai erityistaitoja	Huoltotyön tekemisessä vaaditaan erikoistyökaluja, jotka pitää varata / vuokrata erityisesti tätä toimenpidettä varten.
2	Vian syy voidaan todeta nopeasti vain erikoistyökalujen avulla tai kokeneen henkilökunnan toimesta	Huoltotyön turvalliseen suorittamiseen vaaditaan erityisvarusteita/erityistä varovaisuutta.	Huoltokohteeseen pääsyyn tarvitaan tavanomaisia työkaluja/näkyvyys rajoitettu	Huoltotyön tekeminen vaatii usean vuoden kokemusta vastaavista laitteista.	Huoltotyön tekemisessä vaaditaan erikoistyökaluja, jotka ovat tavanomaisesti huoltohenkilöiden saatavilla.
1	Vian syy on helposti ja nopeasti tunnistettavissa ohjausjärjestelmän avulla ja/tai ihmisaistein.	Huoltotyö voidaan suorittaa turvallisesti ilman erityisvarusteita tavanomaista varovaisuutta noudattaen.	Huoltokohteeseen pääsemiseksi ei tarvita työkaluja tms. / näkyvydessä ei ongelmia	Huoltotyö on suoritettavissa tavanomaiset taidot omaavan huoltohenkilön toimesta.	Huoltotyö on tehtävissä huoltohenkilöllä normaalisti mukana olevin työkaluin.

Edellä esitettyjen kvalitatiivisten arvioiden lisäksi tehdään arvio kunkin kunnossapitotoimenpiteen ajallisesta kestosta sekä henkilötyöajasta. Aikaan sisällytetään korjaavan kunnossapidon tehtävien kohdalla myös vianetsintäaika, mikäli vika ei olisi suoraviivaisesti löydettävissä koneen toiminnassa havaitun oireen perusteella. Tähän arvioon perustuen voidaan laskea ko. toimenpiteen aiheuttamat työ kustannukset sekä kunnossapitäjälle että epäkäytettävyydestä johtuvan tuotannon menetyksen arvo. Esimerkki yhden kunnossapitotyön osalta täytetystä ennakoivan kunnossapidon analysointilomakkeesta on taulukko 4.2:ssa.



**Taulukko 4.2. Esimerkki ennakoidun kunnossapitotyön analysointilomakkeesta. Lyhenteiden selitykset: SAF = turvallisuus (safety), A = luoksepäästävyys (accessibility), D = työn vaativuus (difficulty), ST = erikoistyökalujen tarve (special tools) ja T = työhön kuluva aika (time).**

Huolto-työ	Työn suorittaminen	Kriittisyys						Parannusehdotukset perusteluineen Lisätiedot
		Huolto-taajuus	SAF	A	D	ST	T (min)	
Kuorma-auton renkaiden ilman-paineiden tarkastus.	Mittaus rengas-paine-mittarilla	Viikoittain	I	2	I	3	15	Paripyörien sisemmän rengasparin paineiden tarkastus on hankalaa, koska normaali mittari ei sovi kunnolla venttiiliin. Hankitaan venttiileihin rengaspaineen oikean tason värin avulla indikoivat venttiilihatut, jolloin paineet voidaan tarkastaa silmämääräisesti päivittäin.

Tehdyistä arvioista ei ole tarpeen laskea kaiken summaavaa indeksiä tms. vertailulukua. Periaatteessa kaikki kunnossapitotoimenpiteet, jotka on yksittäiseltäkin näkökulmalta arvioitu kriittisimpään luokkaan, eli esimerkkitapauksessa luokkaan 3 kuuluvat kunnossapitotoimenpiteet pitää käsitellä tarkemmin ja miettiä niille parannustoimenpide-ehdotuksia.

Kunnossapidettävyyden analyysi tukeutuu mahdollisimman paljon olemassa oleviin dokumentteihin ja aiemmin tehtyihin analyysihin, jolloin valmistelun tarve vähenee. Menetelmän testauksessa saatujen kokemusten perusteella kolmiportaisella asteikolla tehty arviointi on nopeata. Lisäksi rakenteen kunnossapidettävyyden arvioinnin lisäksi analyysissä tulee tarkastettua huolto-ohjelman sisältö yleisesti, eli ovatko ohjelmassa mainitut kunnossapitotoimenpiteet ylipäättään relevantteja ko. tuotteelle. Huoltotöiden erillinen arviointi on hieman hankalaa, koska käytännössä useita huoltotöitä tehdään samalla kerralla, jolloin esimerkiksi rakenteiden purkamista luoksepäästävyys takia ei tarvitse tehdä jokaiselle huoltotoimenpiteelle erikseen. Tämä ongelma häiritsee kuitenkin vain huoltotyöhön kuluvaan ajan arviointia.

## Case: Kunnossapidettävyyden suunnittelun menetelmä

RelSteps – käyttövarmuuden hallinta suunnittelussa<sup>9</sup>-tutkimushankkeen puitteissa tehtiin case-tutkimus yhteistyössä Kalmar Oy:n kanssa, jossa VTT:llä kehitettyä kunnossapidettävyyden analysointimenetelmää testattiin ja kehitettiin kokemusten perusteella edelleen.

Analyysissa huomioitiin sekä ennakoidun kunnossapidon (huollot) että korjaavan kunnossapidon (vikakorjaukset) näkökulmat. Ennakoidun kunnossapidon tehtävien tarkastelussa käytettiin aieman vastaavanlaisen tuotteen huolto-ohjelmaa, koska uutta huolto-ohjelmaa ei vielä ollut käytettävissä. Korjaavan kunnossapidon tarkastelussa käytettiin apuna edellisestä tuotesukupolvesta tehtyä vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysia, josta tarkasteltiin todennäköisimmiksi arvioitua kohteita. Olemassa olevia dokumentteja käyttämällä saatiin analyysin valmistelutyön määrä minimoitua.

Kunnossapidettävyyteen on Cargotecilla kiinnitetty huomiota aiemmin mm. huollettavuuskatselmusten muodossa. Tällöin kone on kuitenkin jo vähintään prototyyppivaiheessa, jolloin monet valinnat ovat olleet niin pitkällä, ettei niiden muuttaminen ole enää ollut mahdollista. Analysointi oli hyödyllistä etenkin huollon edustajien näkökulmasta, koska analyysin teon yhteydessä heidän mielipiteensä tuli otettua tavanomaista paremmin huomioon. Monet tunnistetut parannustoimenpiteet olivat lisäksi sellaisia, että niiden toteuttaminen oli mahdollista varsin pienin panostuksin.

<sup>9</sup> <https://projectsites.vtt.fi/sites/relsteps/www.vtt.fi/sites/relsteps.html>

## Keskeiset opit

- Kunnossapidettävyyteen kiinnitetään usein vasta varsin myöhäisessä vaiheessa tuotekehitysprosessia huomiota. On ymmärrettävää, että tuote suunnitellaan ensisijaisesti tuottavaa työtä varten, mutta erityisesti vuosia tai vuosikymmeniä käytössä olevien koneiden kohdalla myös kunnossapidettävyyks alkaa vaikuttaa myös tuottavuuteen.
- Kalmar Oy:n kanssa tehdyssä case-tutkimuksessa löydettiin kohteita, joissa kunnossapidettävyyks oli haasteellista, mutta joissa korjaavien toimenpiteiden tekeminen oli hyvin kustannustehokasta, sillä tuote oli vielä suunnitteluvaiheessa.
- Hyvin pienillä ja edullisilla muutoksilla oli mahdollista vaikuttaa huomattavasti tuotteen huollon suoritusnopeuteen ja tarvittaviin resursseihin, jotka pitkällä käyttöjaksolla vaikuttavat merkittävästi tuotteen käyttökustannuksiin.

# 4.4

## RAMS TOIMITUSPROJEKTISSA

Helena Kortelainen, Tero Välisalo ja Toni Ahonen

### Johdanto

Hankinta- ja toimitusprojekteihin liittyvät RAMS-ohjelmat korostavat toimittajan ja asiakkaan välistä vuorovaikutusta. Erityisen tärkeää sujuva yhteistyö on silloin, kun toimitettava tuote räätälöidään tai suunnitellaan kokonaan asiakkaan tarpeista lähtien. RAMS-ohjelmalla varmistetaan, että käyttövarmuus- ja turvallisuusvaatimukset tulevat kattavasti huomioiduksi toimitettavan järjestelmän elinjakson alusta alkaen, ja että nämä vaatimukset ohjaavat järjestelmän suunnittelua ja toteutusta kaikissa prosessin vaiheissa. Kun suunnittelu perustuu yhteisesti jaettuihin ja ymmärrettyihin vaatimuksiin, voidaan välttää tilanteet, joissa turvallisuuden ja käyttövarmuuden puutteet havaitaan vastaanotto- tai käyttöönottotarkastuksessa tai käyttövaiheen jo alettua. Vaatimusten täyttymistä voidaan seurata pitkään, ja on mahdollista, että sanktiot niiden täyttymättä jäämisestä tai puutteista voi seurata sanktioita valmistajalle vuosia toimituksen jälkeenkin.

RAMS-prosessin tavoitteena on varmistaa, että toimitusprojektin lopputuloksena syntyvät järjestelmä täyttää asiakkaan asettamat vaatimukset järjestelmän luotettavuudelle, käytettävyydelle, kunnossapidettävyydelle ja turvallisuudelle. Tämän lisäksi RAMS-prosessi tuottaa käyttäjälle lähtötiedot järjestelmän kunnossapidon suunnitteluun.

### RAMS tavoitteiden asettaminen

Käyttövarmuustavoitteiden asettaminen kuuluu keskeisesti konseptivaiheen tehtäviin (esim. SFS-EN-60300-3-4:en, 2008). Käytännössä konseptivaiheessa saatavilla oleva tieto ei useinkaan salli käyttövarmuusvaatimusten yksityiskohtaista tai kvalitatiivista määrittelyä. Sen sijaan on tärkeää antaa suuntaviivoja käyttövarmuussuunnittelulle ja vaikuttaa keskeisiin käyttövarmuuden tekijöihin riittävän varhaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia.

Käyttövarmuusvaatimuksia voidaan asettaa käyttövarmuuden kaikille kolmelle osatekijälle ja ne voivat olla luonteeltaan kvalitatiivisia (laadullisia) tai kvantitatiivisia (määrällisiä). Tuotekehityksen ja suunnittelun edetessä tavoitteita täsmennetään ja määritellään tarkemmin ja laadullisista tavoitteista pyritään määrittelemään suorituskäytävöitteitä myös kvantitatiivisesti. Tyypillisiä kvalitatiivisia vaatimuksia ovat esimerkiksi:

- Osajärjestelmän vika ei saa pysäyttää pääprosessia
- Yksittäinen vika ei saa keskeyttää järjestelmän toimintaa (*single fault criterion*)
- Prosessin kriittisten osien toimintavarmuus on varmistettava kunnonvalvonnalla
- Korjaus tulee voida suorittaa vaihtamalla korjattavissa olevat osat
- Vian, jos sellainen ilmenee, on oltava havaittavissa

Tyypillisiä kvantitatiivisia käyttövarmuusvaatimuksia ovat:

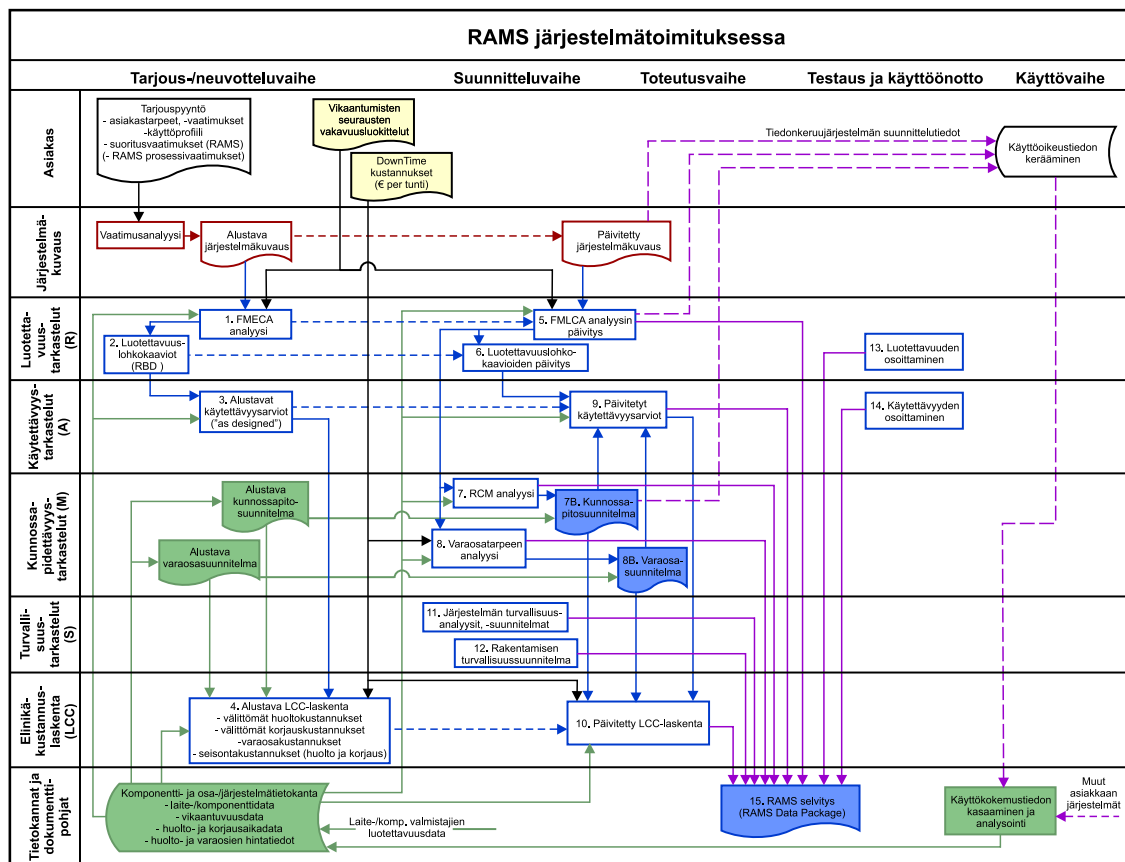
- Keskimääräinen käytettävyyden (ajanjaksolla X)  $A \geq 0,9999$
- Keskimääräinen vikaantumisväli MTBF  $\geq 40.000h$
- Maksimi aktiivinen korjaava kunnossapitoaika ACMT  $\leq 5h$
- Keskimääräinen toimintakelvottomuusaika MDT  $\leq 7h$

Tyypilliset asiakasvaatimukset liittyvät mm. räätälöitävän järjestelmän toteutustapaan ja suorituskykyyn, kuten kapasiteettiin, luotettavuuteen, järjestelmän ja sen osien käytettävyyteen. Asiakas voi myös esittää, mitä RAMS-tarkasteluja toimitusprojektissa tehdään, ja miten tuloksia raportoidaan ja millaisin tarkasteluin vaatimusten toteutuminen osoitetaan.

Tarjouspyynnössä ilmaistujen asiakastarpeiden ja vaatimusten lisäksi tärkeitä lähtötietoja on erilaisten vikaantumisten vaikutuksista ja vakavuudesta asiakkaalle. Seuraukset voivat liittyä järjestelmän toimintaan, ihmisten turvallisuuteen, ympäristöön tai vikojen korjaamisen ja seurausten pienentämisen kustannuksiin. Tästä syystä RAMS-prosessi on iteratiivinen ja etenee keskustellen asiakkaan kanssa.

## Case: RAMS prosessin laatiminen

RAMS-ohjelma tarkastelee turvallisuus- ja käyttövarmuuskysymyksiä järjestelmän elinjaksoon liitettyinä. RAMS-ohjelmaan liittyy tyypillisesti myös palautteen kerääminen jo käytössä olevasta järjestelmästä. Seuraavassa kuvassa (Kuva 4.5) hahmotellaan toimitusprojektin RAMS-prosessia.



Kuva 4.5. Toimitusprojektin RAMS-prosessi

Tarjouspyynnön pohjalta muodostetaan vaatimusmäärittely, joka on lähtökohtana alustavalle järjestelmäkuvaus. RAMS-tarkastelujen perustana on järjestelmäkuvaus. Keskeisimmät tarkastelutukevat kuvaukset ovat varsinaisten suunnitteludokumenttien ohella:

- toiminnallinen kuvaus (functional description/specification)
- tekninen kuvaus (technical description/specification)

Toiminnallinen ja tekninen järjestelmäkuvaus täydentävät toisiaan. Toiminnallinen kuvaus (esim. SADT tai IDEF0) jakaa järjestelmän toiminnallisiin osiin lähtien niistä toiminnoista, joita järjestelmältä vaaditaan. Tekninen kuvaus puolestaan konkretisoi toteutustavan -tarvittavat koneet, laitteet, komponentit ja osat - jolla tämä toiminnallisuus saadaan aikaan.

Toimitusprojektin RAMS prosessin kaavioon (Kuva 4.5) on koottu myös RAMS-prosessin keskeisiä työkaluja. Näitä menetelmiä ja työkaluja on kuvattu joko tämän kirjan muissa luvuissa tai oppikirjoissa:

- FMECA (katso luvut 1.3 ja 4.2),
- luotettavuuslohkokaaviot, (RBD, ks. esim. Hoyland & Rausand, 2009),
- kunnossapidon suunnittelu luotettavuuskeskeisen suunnittelumenetelmän avulla (*Reliability-Centered Maintenance*, RCM, ks. esim. Moubray, 2001),
- turvallisuuteen liittyvät tarkastelut (luku 1.3) ja
- LCC, elinjakso-kustannusten tarkastelut (luku 1.5).

RAMS tarkastelujen tulokset toimivat palautteena suunnittelun onnistumisesta suhteessa annettuihin tavoitteisiin, ja osoittavat samalla tarpeita suunnitelmien muuttamiselle. RAMS-prosessi on iteratiivinen ja alustavat tarkastelut ja tulokset konkretisoituvat ja tarkentuvat vaiheittain projektin edetessä tarjous- ja neuvotteluvaiheen konseptista suunnittelun ja toteutuksen kautta toimitettavaan järjestelmään.

## Keskeiset opit

- RAMS-prosessin tavoitteena on varmistaa, että toimitusprojektin lopputuloksena syntyvät järjestelmä täyttää asiakkaan asettamat vaatimukset järjestelmän luotettavuudelle, käytettävyydelle, kunnossapidettävyydelle ja turvallisuudelle.
- RAMS-prosessi edellyttää hyvin toteutetun vaatimusmäärittelyn ja järjestelmäkuvausten, sekä kyvykkyyden soveltaa luotettavuustekniikan menetelmiä.
- RAMS-prosessi on iteratiivinen ja etenee keskustellen asiakkaan kanssa.

# 4.5

## UUSIEN TEKNOLOGIOIDEN HYÖDYNTÄMINEN ELINJAKSON HALLINNAN TUkena

Jyri Hanski, Helena Kortelainen ja Tero Välsälo

### Johdanto

Teknologiset ratkaisut tukevat elinjakson hallintaa monessa vaiheessa. Esimerkkejä elinjakson hallintaa tukevista teknologisista ratkaisuista ovat älykkäät laitteet ja anturit, tarkastuksiin, diagnostiikkaan, prognostiikkaan, simulointiin ja jäljitykseen (*tracking*) liittyvät työkalut, dronit (*drones*) sekä lisätyn ja virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen sekä pilvipohjaiset työkalut (esim. Holgado et al., 2016). Taulukko 4.3 kuvaa teknologioiden hyödyntämistä elinjakson hallinnassa.

*Taulukko 4.3. Teknologiset ratkaisut elinjakson hallinnassa (muokattu lähteistä Holgado et al., 2016 ja Rasheed et al., 2020)*

Teknologia	Käyttökohteet elinjakson hallinnassa
Älykkäät laitteet	Kenttätyön tukeminen Etäyhteys asiantuntijoihin sekä kohteeseen
Älykkäät anturit	Datan keruu kohteista ja niiden toimintaympäristöstä Tunnistetaan kohteen vikaantuminen Kohteen etäsäätö
Älykkäät kunnossapitoa tukevat tietojärjestelmät	Nopea ja joustava aikataulutus Kunnossapitotoimien hallinta
Digitaaliset kaksoset	Järjestelmän toiminnan optimointi Ennakoiva kunnossapito ja aikataulutus Reaaliaikainen monitorointi ja ohjaaminen Laadunhallinta Kunnossapidon huomiointi jo järjestelmän suunnitteluvaiheessa
Tarkastusta tukevat työkalut	Tunnistetaan kohteen vikaantuminen tai suorituskykypoikkeamat
Diagnostiikan ja prognostiikan työkalut	Online vikadiagnostiikka ja juurisyiden tunnistaminen Kohteen jäljellä olevan eliniän arviointi perustuen kuntoon ja oletettuun käyttöön Proaktiivisen kunnossapidon strategioiden tukeminen
Pilvipohjaiset työkalut	Pääsy jaettuihin tietoresursseihin
Simulointityökalut	Eri kunnossapitostrategioiden tehokkuuden vertailu Skenaariot kohteen kulumiselle ja vikaantumiselle

Jäljityksen työkalut	Kenttätöön tukeminen komponenttien ja laitteiden tunnistuksella Kunnossapitotiedon säilöminen ja liittäminen oikeaan kohteeseen
Lisätyn ja virtuaalitodellisuuden hyödyntäminen	Tiedonvaihdon tukeminen Kenttätöön tukeminen ohjeistuksilla ja etäneuvonnalla

Elinjakson hallintaa tukevia teknologisia ratkaisuja on otettu käyttöön laajasti eri teollisuudenaloilla. Teknologioiden implementoinnissa ja niiden todellisten hyötyjen ja kustannusten määrittämisessä on kuitenkin suuria haasteita. Teknologisten ratkaisujen implementoinnissa on usein mukana monia sidosryhmiä, kuten teknologian kehittäjä, palveluntarjoaja sekä loppukäyttäjät teollisuudessa. Onnistunut käyttöönotto vaatii samanaikaisesti myös työtapojen ja prosessien päivittämisen (Brynjolfsson & Hitt, 2003).

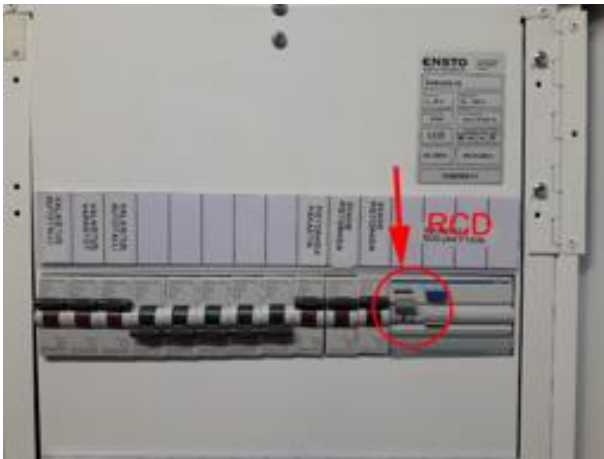
## Etätukiratkaisut elinjakson hallinnan tukena

Lisättyä ja virtuaalitodellisuutta (*Augmented Reality*, AR ja *Virtual Reality*, VR) hyödyntäviä etätukiratkaisuja pidetään yhtenä keskeisistä teknologioista kunnossapidon tukemiseen (esim. Palmari et al., 2018). Lisätyn todellisuuden ratkaisuissa todelliseen maailmaan lisätään virtuaalisia objekteja, kun taas virtuaalitodellisuudessa tietokoneelle tehtyjä ympäristöjä hyödynnetään järjestelmän interaktioiden simuloinnissa (Milgram & Kishino, 1994; Gavish ym., 2015). AR ja VR -teknologioita käytetään esimerkiksi kunnossapitotehtävien harjoittelussa, kunnossapitotehtävien tukena ja tiedonvaihdon välineenä, tiedon integroinnissa työympäristöön ja työntekijöiden kognitiivisen kuorman keventämisessä vaativissa ympäristöissä. AR ja VR -ratkaisuja hyödynnetään laajasti muun muassa ilmailuteollisuudessa sekä tuotantolaitosten ja sähköverkkojen elinjakson hallinnassa kokoonpano-, purku-, korjaus-, tarkastus-, vianetsintä- ja koulutustehtävissä.

Lisättyyn ja/tai virtuaalitodellisuuteen perustuvat ratkaisut eivät ole vielä laajamittaisesti käytössä. Etätukiratkaisuissa nähdään monia hyötyjä kuten asiantuntijuuden tuominen kentälle ja liikkumiseen tarkoitettun työajan säästäminen, etätuki muilta kunnossapitotyöntekijöiltä, työturvallisuuden varmistaminen, dokumentaation automatisointi ja ohjeiden tuonti näkökenttään kenttäolosuhteissa. (Kortelainen ym., 2020)

## Case: Etätukiratkaisut sähkökatkon vianetsinnässä

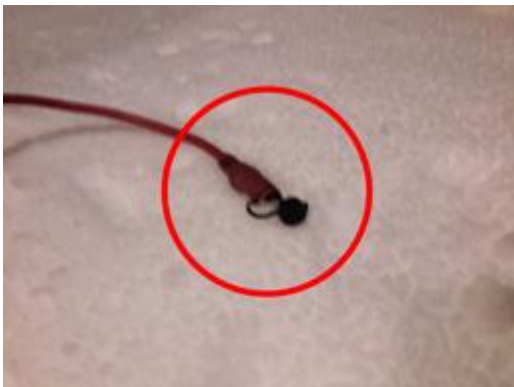
Tässä esimerkkitoteutuksessa asuinrakennuksen sähkökatkon vianetsinnässä käytettiin etätukiratkaisua, joka mahdollistaa muun muassa ääni- ja videoyhteyden, chatin, kuvien käsittelyn, tiedonsiirron, tiketöinnin, lisätyn todellisuuden hyödyntämisen sekä tuen mobiililaitteille ja älylaseille. Kokeilussa asuinrakennuksen kaikki valot sammuvat yhtäkkiä ilman näkyvää syytä. Asukas ottaa sähkölaitoksen asiantuntijaan yhteyttä mobiilisovelluksen avulla. Osa sähkölaitteista, kuten sähkölämmitys sekä viereisen kadun katuvalot, kuitenkin toimivat. Tästä syystä ongelma voidaan eristää asuinrakennukseen ja sen tiettyihin sähköpiireihin. Koska kriittiset sähköjärjestelmät, kuten lämmitys, toimivat, asiantuntija arvioi ongelman liittyvän rakennuksen vikavirtasuojakytkimeen. Vikavirtasuojakytkimen tehtävänä on suojata käyttäjiä ja laitteita sähköiskuilta. Sähkölaitteen altistuminen kosteudelle on tyypillinen vikavirtasuojakytkimen laukeamistilanne.



Kuva 4.6. Sähkökeskus ja vikavirtasuojakytkimen merkintä (RCD)

Ratkaistakseen ongelman asiantuntija pyytää asukasta ottamaan kuvan talon sähkökeskuksesta ja lähettämään sen sovelluksen avulla hänelle. Asiantuntija merkitsee kuvaan vikavirtasuojakytkimen sijainnin ja neuvoo asukasta kääntämään kytkimen ”päälle” asentoon. Kun kytkin on oikeassa asennossa, valot palaavat sekunniksi, jonka jälkeen vikavirtasuojakytkin aktivoituu uudestaan. Ongelman juurisyy on yhä olemassa ja se on tunnistettava, jotta ongelma voidaan ratkaista.

Asiantuntija tiedustelee, onko talossa kosteudelle alttiita sähkölaitteita. Asukas kertoo, että ainoa ulkona sijaitseva sähkölaite on auton moottorinlämmitin, mutta se ei ole tällä hetkellä käytössä. Asiantuntija pyytää ottamaan lämmittimestä kuvan ja lähettämään sen. Lämmittimen johto on pudonnut lumeen ja asukas huomaa, että lämmittimen ajastin on aktivoitunut samaan aikaan sähkökatkon kanssa.



Kuva 4.7. Lämmitysjohto on irronnut liittimestä

Asiantuntija neuvoo irrottamaan lämmittimen johdon ja kokeilla sen jälkeen vikavirtasuojakytkimen laittamista takaisin ”päälle” asentoon. Tällä kertaa se myös pysyy päällä ja valot syttyvät. Asiantuntija neuvoo, että lämmittimen johto kuivatetaan kunnolla sisätiloissa ennen seuraavaa käyttökertaa, jotta samalta ongelmalta vältytään. Ongelma on ratkaistu ja tilanne on tallennettu etätukijärjestelmään ratkaisuneen, kuvineen sekä kirjoitettuine kommentteineen, ja on käytettävissä seuraavissa vastaavissa palvelupyynnöissä.

Tämä case käsitteli mahdollista kuluttajamarkkinoille suunnattua etätukiratkaisua, jossa asiantuntija-apu saadaan nopeasti yksityisasiakkaiden käyttöön lisätyn todellisuuden ja etäyhteyden avulla. Verkkoyhtiöillä ja palveluntarjoajilla on jo asiantuntemusta ja tietoa asuinrakennusten sähköratkaisuksista ja ymmärrystä mahdollisista vikaantumistavoista ja niiden ratkaisemisesta. Etätukiratkaisu mahdollistaa vikaantumistapojen ja niiden ratkaisujen sisältävän tietokannan rakentamisen asiantuntijoiden tueksi, joka päivittyy uusien palvelupyyntöjen mukana.



Tarve etätukiratkaisuille on kasvamassa älykkäiden sähköverkkojen ja energiajärjestelmien yleistyessä. Älykkäillä verkoilla on liittymäpintoja sähköistyvään liikenteeseen ja rakennuksiin, joissa voi olla kysyntäjoustoa, uusiutuvan energian tuotantoa ja muita liittyviä järjestelmiä. Monimutkaistuvassa verkossa ilmenee uusia vikaantumismuotoja ja kunnossapitotyöntekijät ja asentajat tarvitsevat uudenlaista osaamista ja tietolähteitä. Asiantuntijuus hajaantuu useisiin organisaatioihin ja ympäri Suomea ja koko maailmaa. Nämä asiat johtavat lisääntyvään tarpeeseen etätuelle ja -koulutukselle, joka voidaan organisoida joko keskitetysti palvelukeskuksista tai hajautetusti toisten huoltohenkilöiden tai ryhmien kautta.

## Keskeiset opit

- Keskeisiä teknologioita elinjakson hallinnan tukemiseen ovat muun muassa älykkäät laitteet ja anturit, älykkäät kunnossapidon tietojärjestelmät, fyysisen järjestelmän digitaaliset kaksoiset, tarkastuksiin, diagnostiikkaan, prognostiikkaan, simulointiin ja jäljitykseen liittyvät työkalut, droonit, lisätyn (AR) ja virtuaalitodellisuuden (VR) hyödyntäminen sekä pilvipohjaiset työkalut.
- Tarpeet ja valmiudet teknologisten ratkaisujen käyttöönotolle ovat erilaisia eri toimialoilla ja toimijoilla toimialan sisällä. Tästä esimerkkinä älykkäät sähköverkot.
- Etätukiratkaisuilla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä elinjakson hallinnassa. Esi-merkkinä sovelluskohteesta on vianetsinnän tukeminen

# 4.6

## KUSTANNUSTEN JA HYÖTYJEN ARVIOINTI OSANA UUDEN TEKNOLOGIAN KÄYTTÖÖNOTTOA

Helena Kortelainen ja Antti Rantala

### Johdanto

Päätöksenteon tueksi on olemassa useita rationaalisia ja analyyttisiä investointi-, kannattavuus- ja kustannuslaskennan menetelmiä ja -sovelluksia, joita voidaan hyödyntää tapauskohtaisesti sekä yrityksissä että julkisella sektorilla. Menetelmistä esimerkiksi elinjakso-kustannuslaskelmat painottavat tuotteen tai palvelun koko elinjakson aikaisten kustannusten arviointia (ks. luku 1.5). Kustannus-hyötyanalyysi puolestaan on yhteiskunnallisen päätöksenteon apuväline, jonka avulla määritetään annetun projektin tai kaavaillun toimenpideohjelman toteuttamisen hyöty laajasti. Kustannus-hyötyanalyysi pyrkii siis selvittämään ylittävätkö suunnitellusta projektista saadut hyödyt sen toteuttamisesta aiheutuneet kustannukset (Fuguitt & Wilcox, 1999; Boardman ym., 2006). Kustannus-hyötyanalyysiä on sovellettu myös esimerkiksi turvallisuusinvestointien tai –teknologioiden arviointiin (Räikkönen ym., 2013).

### Kustannus- ja hyötytarkastelut sekä kustannus-vaikuttavuusanalyysit

Kustannus-hyötyanalyysissä (*Cost-Benefit Assessment, CBA*) on nimensä mukaisesti otettu huomioon hyödyt ja kustannukset, joiden perusteella määritellään nettohyöty. Vertailukohtana on yleensä nykytilanne. Kustannukset ja hyödyt voivat jakautua epätasaisesti useille sidosryhmille, joten tarkastelu on rajattava huolellisesti keskittyen niihin tahoihin, joille hankkeesta aiheutuvilla hyödyillä ja kustannuksilla on merkitystä (mm. Boardman ym., 2006). Puolustusvoimien projektiohje (Kosola, 2012) määrittelee arvioitavat hyödyt seuraavasti:

- *Hyöty on se lisäarvo, joka onnistuneesta projektista saadaan. Hyöty on usein rahallista tai toiminnallista, mutta puolustusvoimien projekteissa hyöty on usein kuitenkin vaikeasti mitattava, kuten sodan ajan joukkojen suurempi taisteluteho tai paremmat toimintapedellytykset. Myös puolustuksen uskottavuus, yleinen mielipide ja muut immateriaaliset seikat voivat olla projektista saavutettavaa hyötyä.*

### Case: Laadullisten ominaisuuksien tarkastelu osana teknologiavalintoja

Hyötyjen arvioiminen on usein hyvin haasteellista. Silloin esimerkiksi teknologiahankinnan valmistelussa kustannus-hyöty-mallinnuksen lähtökohdaksi voidaan valita tilanne, jossa vaihtoehtoisien ratkaisujen tuottamien hyötyjen voidaan arvioida olevan samoja tai lähes samoja. Tällöin hyöty-kustannussuhteeltaan paras vaihtoehto voidaan valita elinjakso-kustannusten ja muiden päätökseen vaikuttavien laadullisten tekijöiden avulla. Puolustusvoimien tutkimusohjelman PVT02017 hankkeessa (Laarni ym., 2020) yhtenä tavoitteena oli vaihtoehtoisien taistelijan toimintakykyä monitorivien sensorijärjestelmien hyötyjen ja kustannusten arviointi. Kustannusten ja muiden ominaisuuksien arviointia varten ratkaisuvaihtoehdot pyrittiin kuvaamaan suorituskyvyltään mahdollisimman samakaltaisena ja siten vertailukelpoisina. Tutkittavia vaihtoehtoja ovat:

- Vaihtoehto 1: Kuluttajatuottajatuotteen käyttöön perustuva järjestelmä
- Vaihtoehto 2: Erikoistuotteeseen perustuva järjestelmä
- Vaihtoehto 3: Kaupallinen järjestelmä

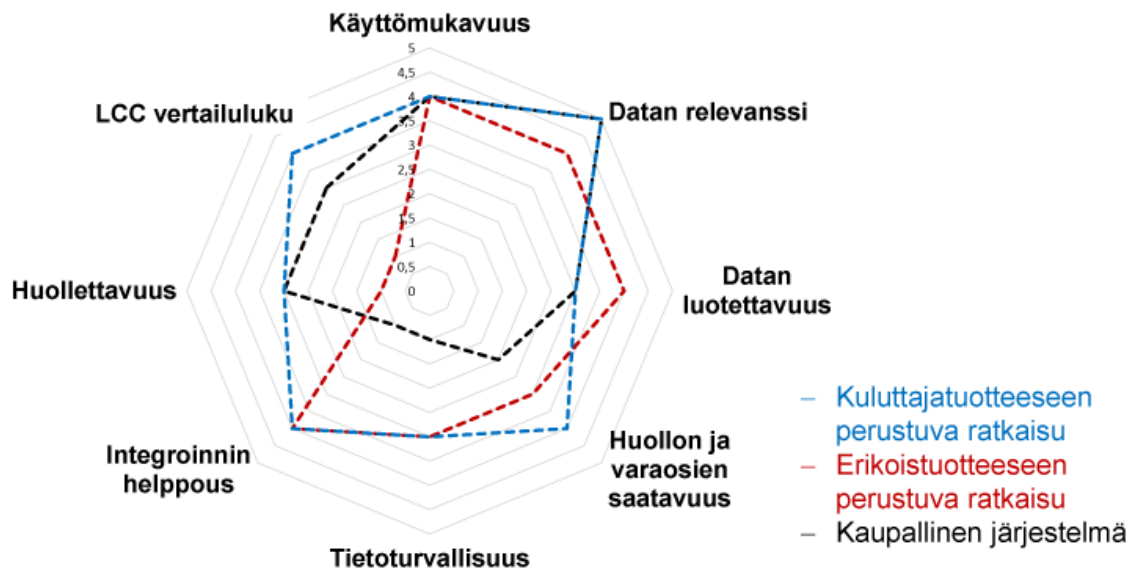
Kustannusvertailujen tueksi kehitettiin MS Excel-taulukkolaskentapohjainen työkalu, jonka avulla järjestelmävaihtoehtojen elinjakso-kustannukset (IEC 60300-3-3, 2017) lasketaan. Kustannustietoja saatiin sekä toimittajilta että valmistajien internetsivujen kautta. Kustannusanalyysissä muuttujana on käyttäjämäärä, jolloin laskenta voidaan tehdä halutulla käyttöskenaariolla. Kustannuslaskennan MS Excel-työkaluun syötetään tarkasteltavien sensoriratkaisujen tiedot, jonka jälkeen tuloksia voi vertailla erilaisilla käyttäjämäärillä ja erilaisten raporttien avulla.

Elinjakso-kustannusten lisäksi kustannus-hyöty-mallin avulla voidaan tarkastella ja raportoida vaihtoehtojen ratkaisujen laadullisia muuttujia yhdenmukaisella ja havainnollisella tavalla. Tarkasteluun on sisällytetty tekijöitä, jotka ovat tarkasteltavan mittausjärjestelmän käyttötarkoituksen kannalta keskeisiä vaatimuksia. Arvioitavia laadullisia ominaisuuksia ovat:

- Käyttömukavuus
- Datan relevanssi
- Datan luotettavuus
- Huollon ja varaosien saatavuus
- Huollettavuus
- Tietoturvallisuus
- Integroitavuus muihin tietojärjestelmiin

Vaihtoehtojen laadullisista ominaisuuksista arvioitiin asiantuntijatyöpajassa. Kussakin arviointikohdassa muodostettiin konsensusarvio skaalalla 1 (erittäin huono) - 5 (erittäin hyvä). Tulokset nähdään seittikaaviossa (Kuva 4.8). Jotta samaan kuvaan saadaan kaikki päätöksentekoon vaikuttavat tekijät, lisättiin seittikaavioon myös ”LCC vertailuluku”. Vertailuluku on laskettu skaalalla eri ratkaisuiden 10v elinjakso-kustannukset asteikolle 1 - 5. Skaalaus tehtiin siten, että pieni vertailuluku tarkoittaa korkeita elinjakso-kustannuksia ja korkea vertailuluku puolestaan alhaisimpia elinjakso-kustannuksia.

Tarkasteltujen kolmen vaihtoehdon (1-3) käyttömukavuudessa ei näyttäisi olevan merkittäviä eroja. Nämä vaihtoehdot eroavat toisistaan vain vähän Datan relevanssin, Datan luotettavuuden ja Huollettavuuden osalta. Merkittävimmät erot syntyvät arviointikohdissa Huollon ja varaosien saatavuus sekä Integroinnin helppous. Kuluttajatuotteeseen perustuva ratkaisu arvioitiin parhaaksi Huollon ja varaosien saatavuuden osalta, koska sen käyttö edellyttää varastossa pidettäviä ja säännöllisesti jaeltavia käyttotarvikkeita. Tutkimuksessa testattavana ollut kaupallinen järjestelmä perustui toimittajan pilvipalvelun hyödyntämiseen, joten sen tietoturvallisuus huoletti. Erikoistuotteeseen perustuvan järjestelmän kustannukset nousevat kahta muuta vaihtoehtoa korkeammiksi. Tämä johtuu sekä käyttotarvikkeiden kulutuksesta ja tuotteen tiedonsiirron vaatimuksista.



Kuva 4.8. Asiantuntija-arvioinnin tulokset eri ratkaisujen laadullisista ominaisuuksista sekä kustannusten vertailuluku koottuna MS Excel-sovelluksen seittikaavioon

Elinjaksokustannusten arviointiin liittyy lukuisia epävarmuustekijöitä, kuten järjestelmiin kuuluvien elektroniikkakomponenttien käyttöikä. Tästä aiheutuva epävarmuus on kuitenkin läsnä kaikkien vaihtoehtojen kohdalla, joten se ei vaikuta merkittäväällä tavalla vaihtoehtojen keskinäiseen järjestelyyn. Muita epävarmuustekijöitä olivat mm. erilaisten kulutustarvikkeiden kuten laastarielektrodien käyttötarve, joka riippuu voimakkaasti käyttöskenaariosta. Huomioitava on, että kehitystyö on hyvin nopeaa, antureiden hinnat muuttuvat nopeasti ja niihin liitetään jatkuvasti uusia ominaisuuksia.

## Keskeiset opit

- Kustannus-hyötyanalyysi pyrkii selvittämään ylittävätkö suunnitellusta projektista saadut hyödyt sen toteuttamisesta aiheutuneet kustannukset
- Kustannukset ja hyödyt voivat jakautua epätasaisesti useille sidosryhmille
- Hyötyjen arvioiminen on usein hyvin haasteellista, joten lähtökohdaksi voidaan valita tilanne, jossa vaihtoehtojen ratkaisujen suorituskkyky on samankaltainen
- Usein hyödyllistä on tarkastella sekä taloudellisia että laadullisia tekijöitä rinnakkain

# 4.7

## INVESTOINTIKOHTEIDEN VALINTA

*Minna Räikkönen, Tero Välisalo ja Helena Kortelainen*

### Johdanto

Investointipäätöksiin liittyy aina useita huomioitavia näkökulmia, toimijoita ja tavoitteita, jotka voivat olla myös keskenään ristiriitaisia. Liiketoimintayksiköistä tai toiminnan eri osa-alueilta tulevien investointiehdotusten loppusumma yleensä ylittää käytettävissä olevan investointibudjetin, joten investointitarpeita joudutaan yrityksissä arvioimaan ja priorisoimaan. Päätöksentekijät joutuvat myös tasapainoilemaan lyhyen ja pidemmän tähtäimen tavoitteiden välillä, ja tarkastelemaan sekä taloudellisia että vaikeasti rahassa arvioitavia tekijöitä. MittaMerkki -projektissa<sup>10</sup> kehitetyt menetelmät ja niitä tukevat sovellukset tarjoavat päätöksentekijöille menetelmiä ja työkaluja, joiden avulla voidaan arvioida eri vaihtoehtojen vaikutuksia ja vaikuttavuutta järjestelmällisesti.

### Case Jyväskylän Energia

MittaMerkki -projektin Jyväskylän Energia Oy:n case -tutkimuksessa (Räikkönen ym., 2017; Välisalo ym. 2017) tutkittiin ja kehitettiin verkostoihin liittyvien korvausinvestointien keskinäistä arvottamista päätöksenteon tueksi. Jyväskylän Energialla on hallinnassaan Jyväskylän alueella sähkö, kaukolämpö- sekä vesi-, viemäri- ja hulevesiverkostoja. Keskeinen haaste on, kuinka valita eri verkostojen investointikohteet budjetin asettamissa puitteissa ja samalla varmistaa, että tehdyt panostukset ylläpitävät tai parantavat koko yrityksen kykyä palvella asiakkaitaan mahdollisimman tehokkaasti. Verkostojen käyttöikä on yleensä hyvin pitkä, useita kymmeniä vuosia, eikä korvausinvestointien kannattavuuden arvioinnissa takaisinmaksuajan määrittäminen joka tilanteessa ole mielekästä. Tästä syystä kehitettiin menetelmä, jonka avulla investointeja arvioidaan sen perusteella, kuinka paljon kyseinen investointi pienentää yrityksen riskiä.

Korvausinvestoinneilla pyritään käytännössä aina pienentämään verkostojen ja järjestelmien viikaantumista ja häiriöistä aiheutuvaa riskiä sekä ylläpitämään vaadittua palvelutasoa. Riskit voivat liittyä henkilö- tai ympäristöturvallisuuteen, verkosto-omaisuuden toimivuuteen, asiakkaille näkyvään toimitusvarmuuteen tai riski voi toteutuessaan aiheuttaa suoria taloudellisia vaikutuksia yrityksen toimintaan. Riskien pienentäminen ja palvelutasosta huolehtiminen ovat tavoitteita, joiden arviointi tavanomaisilla investointien kannattavuuden arvioinnin menetelmillä on vaikeaa. Yhteiskunnan toimivuuden kannalta keskeisten verkostojen käytettävyyteen liittyy myös ei-rahassa mitattavia arvoja, jotka myös on huomioitava päätöksenteossa.

Korvausinvestoinneista päätetään vuosittain. Kaikki investointiehdotukset ovat tärkeitä, joten tarpeeseen vastaavaan investointiportfolioon valinta vuosittain tarkoittaa sitä, että osa ehdotetuista investoinneista siirtyy toteutettavaksi myöhemmin vuosina. MittaMerkki-hankkeessa päädyttiin kehittämään menetelmä, jonka avulla vertaillaan investointiehdotusten riskienhallintavaikutuksia ja

---

<sup>10</sup> <https://projectsites.vtt.fi/sites/mittamerkki/www.vtt.fi/sites/mittamerkki.html>

jäännösriskin avulla optimoidaan investointiportfolio, joka vähentää riskiä kaikkien kustannustehokkaalla tavalla. Menetelmän lisäksi kehitettiin MS Excel-sovellus, jonka avulla menetelmää demostroidaan.

### Riskimatriisin rakentaminen

Riskianalyysissä lähtökohdaksi valittiin riskimatriisi, jonka mukaan riski voidaan määritellä kahden muuttujan avulla. Näitä muuttujia ovat riskin toteutumisen todennäköisyys ja seurausten vakavuus riskin toteutuessa (ks. luku 1.6 Riskien hallinta). Riskin todennäköisyyttä arvioitiin viisiportaaisella asteikolla. Tunnistetut riskit ovat hyvin monimuotoisia ja siten niiden seurausten vaikutuksia on vaikea arvioida yhdenmukaisella tavalla. Tästä syystä seurauksia arvioidaan neljästä eri näkökulmasta, joita ovat:

- Riskin toteutumisen seuraukset henkilöstölle ja ympäristölle
- Riskin toteutumisen seuraukset asiakkaalle
- Taloudelliset vaikutukset eli riskien realisoituessa yrityksen maksettavaksi koituvat kustannukset
- Omaisuuden (*asset*) toimivuus, johon luokkaan liitettiin kaikki käytettävyyteen liittyvät seuraukset (esim. varaosien saatavuus ja kapasiteetti)

Jokaisessa neljässä seurausten luokassa käytettiin viisiportaista asteikkoa. Taloudelliset seuraukset arvioitiin rahassa, mutta muiden seurausluokkien arviointi tehtiin laadullisen kuvauksen perusteella luokitellen. Esimerkiksi asiakkaille koituvat seuraukset arvioitiin määrittämällä seurauksista kärsimään joutuvien asiakkaiden määrä ja seurausten kesto, ja näiden tietojen perusteella tehtiin asian-  
tuntija-arviointi asteikolla 1-5. Kehitetty riskimatriisi implementoitiin MS Excel-sovellukseen (Kuva 4.9).

The screenshot shows a software application titled "Investointiehdotuksen riskianalyysi". It has several input fields at the top: "Investointiehdotuksen nimi" (Investment proposal name), "Investoinnin hinta" (Investment cost) in €, "Ikääntymisestä johtuvat kustannukset" (Maintenance costs) in €/vuosi, and "Monelle vuodelle investointi jakautuu" (Investment is distributed over how many years). Below these is a section titled "Riskit, joita investoinnilla pienennetään" (Risks reduced by investment). This section contains a table with columns for "Riskin kuvaus" (Risk description), "Riskin todennäköisyys" (Risk probability), "Henkilö- ja ympäristöturvallisuus" (Human and environmental safety), "Omaisuuden toimivuus" (Asset functionality), "Asiakkaat" (Customers), "Taloudelliset vaikutukset" (Economic impacts), and "Paino" (Weight). The table has three rows for "Risk 1", "Risk 2", and an empty row. Each row has two sub-rows: "ennen investointia" (before investment) and "investoinnin jälkeen" (after investment). The cells in the table contain numbers from 1 to 5, representing the risk level. To the right of the table is a "Riskin vaikutus" (Risk impact) section with a dropdown menu and a "Muutamot" (Edit) button.

Kuva 4.9. Riskien tunnistaminen ja arviointi (Räikkönen ym., 2017)

### Riskin suuruutta kuvaavan tunnusluvun laskeminen

Riskien arvioimiseksi tunnistetut riskit täytyy kvantifioida, joten riskimatriisiin kerätyistä todennäköisyys- ja seuraustiedoista laskettiin riskin suuruutta kuvaava tunnusluku, riskiluku (*risk index*). Riskiluku on numeerinen arvo, joka edustaa riskin kriittisyyttä, ja jota voidaan hyödyntää silloin, kun riskejä priorisoidaan niiden käsittelyn kiireellisyyden perusteella. Yleensä riskiluku lasketaan kertomalla riskien toteutumisen todennäköisyys ja seuraukset. Koska seurauksia arvioidaan neljästä eri näkökulmasta, muodostetaan laskennassa tarvittava seuraustekijä laskemalla näiden seurausarvojen aritmeettinen keskiarvo. Jos seuraukset eri luokissa vaihtelevat suuresti, voidaan aritmeet-

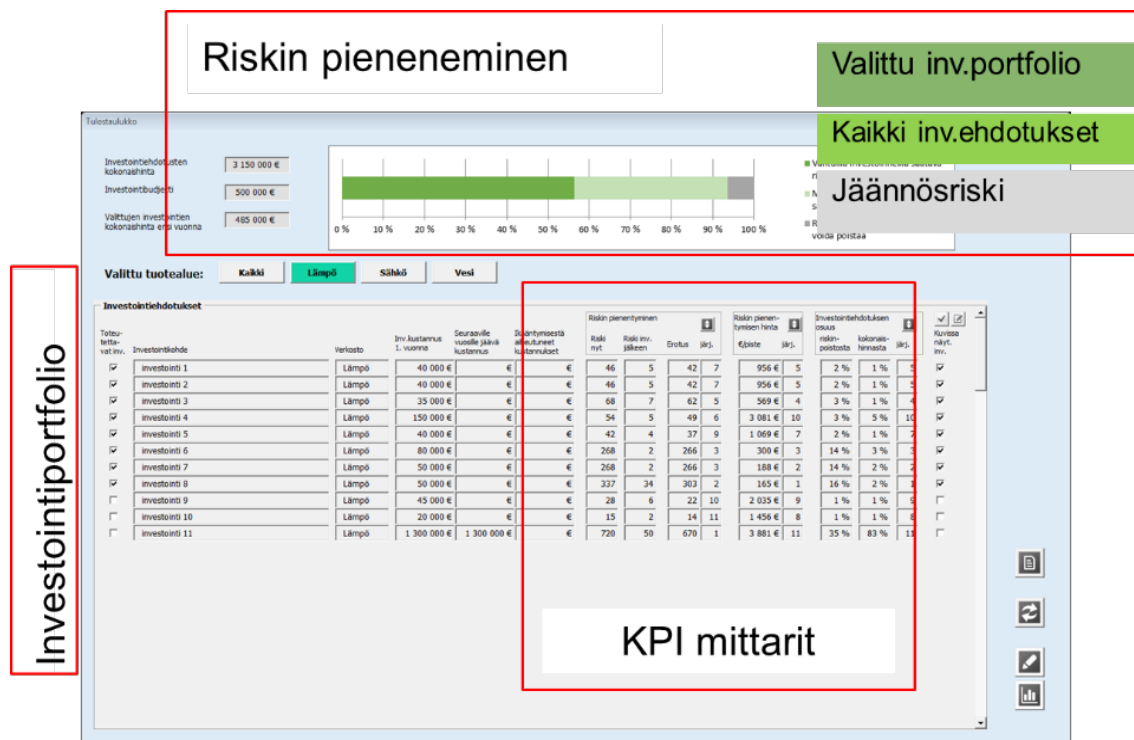
tisen keskiarvon sijaan käyttää painotettua keskiarvoa. Painokertoimien määrittelyssä hyödynnetään Saaty (1980) kehittämää AHP menetelmää (*Analytical Hierarchy Process, AHP*) (ks. esim. Niskanen, 1986).

Usein yksittäinen investointi pienentää useita riskejä. Jos nämä riskit ovat toisistaan riippumattomia, investoinnin riskiluku muodostuu yksittäisten riskilukujen summasta. Käytännössä tunnistetut riskit riippuvat toisistaan, jolloin suoraviivainen yhteenlasku vääristää tuloksia ja investoinnin riskiluku näyttää liian suurena. Laskennassa tätä virhettä korjataan prosenttiosuudella, joka heijastaa riskien keskinäisriippuvuutta.

### Riskin pienentäminen ja investointiportfolion valinta

Kehitetyssä menettelyssä jokaiselle investointikohteelle määritettiin arvio investoinnin aikaansaa-  
masta riskitason muutoksesta. Arvio muodostettiin vertaamalla nykytilanteen riskilukua investoin-  
nin jälkeiseen tilanteeseen (Kuva 4.10).

Koska annettua investointibudjettia voi ylittää, käytettävissä oleva rahoitus on allokoitava mahdol-  
lisimman tehokkaalla tavalla. Investointiehdotuksen kustannustehokkuus riskin pienentämisen nä-  
kökulmasta määritettiin vertaamalla riskiluvun muutosta investointikustannuksiin. Tällä tavoin eri-  
suuruiset ja eri verkostoihin kohdistuvat investoinnit saatiin keskenään vertailukelpoisiksi. Rajalli-  
seen budjettiin liittyvä optimointiongelma ratkaistiin siten, että simuloinnissa pyrittiin pienentä-  
mään jäännösriskiä (*residual risk*), joka jää jäljelle kaikkien investointiportfolion investointien to-  
teutuessa.



Kuva 4.10. Tulostusnäkö (modifioitu lähteestä Räikkönen ym., 2017)

### Suorituskykyä kuvaavat tunnusluvut (KPI)

Kuten yllä olevassa MS Excel-sovelluksen tulostusnäkössä (Kuva 4.10) esitetään, riskin suuruutta kuvaavan tunnusluvun lisäksi voidaan laskea muitakin tunnuslukuja:

1. Riskien pienentämistä kuvaava tunnusluku (*risk mitigation*), joka suosii isoja, useita riskejä yhtä aikaa pienentäviä investointeja
2. Riskin pienentämisestä aiheutuva kustannus (*cost per risk mitigation*), joka suosii pienempiä investointeja

3. Suhteellista osuutta kuvaava tekijä (*investment proportion to..*) - investointia voidaan pitää kustannustehokkaana, jos se pienentää riskiä suuremmalla osuudella kuin mikä on sen osuus investointibudjetista

### ***Työkalu tukee päätöksentekijää***

Tunnuskulujen ja kuvaajien tavoitteena oli antaa päätöksentekijöille tietoa erilaisista investointivaihtoehtoista ja investointien vaikutuksista. Tulosindikaattorit (Kuva 4.10) havainnollistavat, miten kukin investointiehdotus voi vaikuttaa riskiin ja mitkä vaihtoehdot ovat kustannustehokkaimpia. Vaikka menetelmä laskee annettujen tavoitteiden ja reunaehtojen puitteissa kustannustehokkaimman investointiportfolion, mutta sen soveltaminen edellyttää harkintaa. Menetelmässä huomioidaan vain riskeihin liittyviä kriteerejä, mutta luonnollisesti investointipäätöksiä voivat ohjata myös muun tyyppiset kriteerit, kuten maan käytöstä tai kaupunkisuunnittelusta johdetut vaatimukset.

### **Keskeiset opit**

- Perinteinen investointilaskenta sopii huonosti sellaisten korvausinvestointien arviointiin, joissa tavoitteena on pienentää riskejä ja ylläpitää palvelutasoa. Tämä riski voi liittyä henkilö- tai ympäristöturvallisuuteen, verkosto-omaisuuden toimivuuteen, asiakkaille näkyvään toimitusvarmuuteen tai riski voi toteutuessaan aiheuttaa suoria taloudellisia vaikutuksia yrityksen toimintaan.
- Kehitetty korvausinvestointien tärkeyden ja merkittävyyden arviointimenettely pohjautuu riskin arviointiin ennen ja jälkeen mahdollisen investoinnin
- Investointiehdotuksen kustannustehokkuus riskin alenemisen näkökulmasta määritettiin vertaamalla riskiä kuvaavan tunnusluvun muutosta investointikustannuksiin. Tällä tavoin erisuuruiset ja erilaisiin järjestelmiin kohdistuvat investoinnit ovat keskenään vertailukelpoisia.



# 4.8

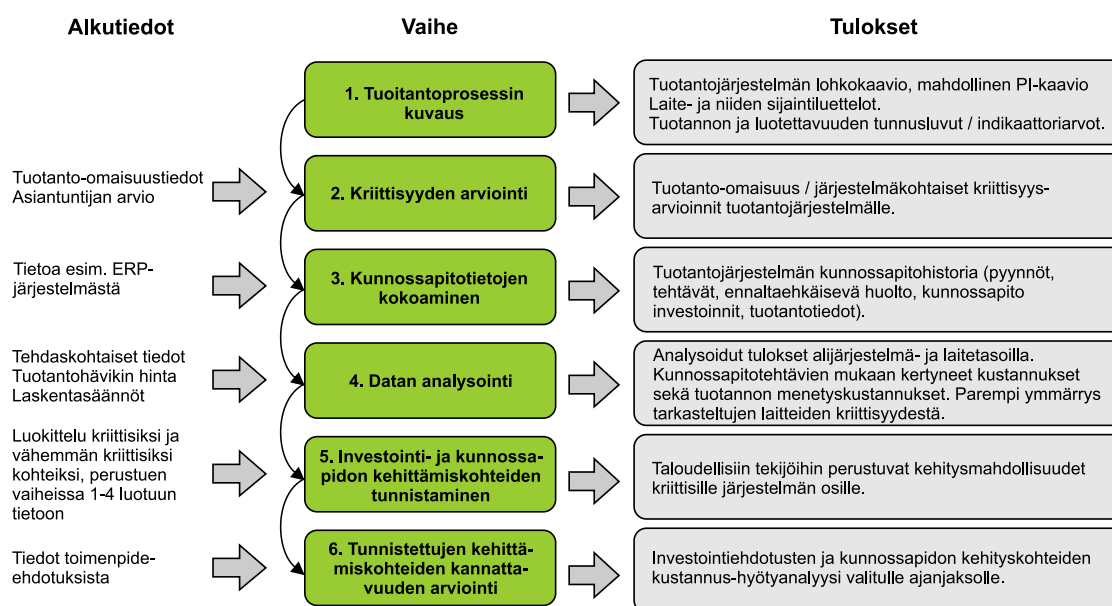
## KORVAUSINVESTOINNIN SUUNNITTELUPROSESSI

Pasi Valkokari

### Johdanto

Tämän luvun tavoitteena on kuvata lähestymistapaa, jota voidaan hyödyntää kunnossapidon kehittämisen suunnittelussa. Tässä keskeisessä osassa on kriittisyystarkastelu ja käytännön esimerkit, millaisten tavoitteiden näkökulmasta kriittisyystarkastelua on hyödynnetty.

Kunnossapidon kehittämisen suunnitteluun ehdotettu prosessia on hahmoteltu kuvassa 4.11.



Kuva 4.11. Esimerkki korvausinvestointien suunnitteluprosessista

### Käytännön esimerkitapauksia

Käytännössä edellä kuvattua lähestymistapaa on sovellettu seuraavien esimerkitapausten tavoiteasetannan mukaisesti.

#### Esimerkki 1

Yrityksellä on tuotantolinja, jonka elinikä se haluaa jatkaa kymmenen vuotta eteenpäin, kuitenkin ylläpitäen nykyisen tuotantotehokkuuden tason. Tällöin laadittiin tuotantolinjan kriittisyysanalyysi asiantuntija-arvioin, jolloin saatiin selville kriittisiksi koetut kohteet. Kriittisyysanalyysin tuloksia verrattiin kunnossapitojärjestelmästä saatua tapahtumadataan, jonka perusteella voitiin todeta, että kriittisyystarkastelun tulokset korreloivat varsin tarkasti todellisten kunnossapitotapahtumien

kanssa. Tämän perusteella voitiin todeta, että asiantuntija-arviot laitteiden kriittisyydestä ovat varsin luotettavia.

Kun kriittisyystarkastelu oli tehty, laadittiin laitteiden jäljellä olevat elinikäarviot asiantuntijoiden kanssa. Tässä työssä laitteita käsiteltiin niiden kriittisyysluokkien mukaan edeten kriittisimmistä laitteista vähemmän kriittisiin. Tällä perusteella pystyttiin määrittämään riittävällä tarkkuudella tarvittavien korvausinvestointien ajankohta ja siten tekemään korvausinvestointisuunnitelma, jonka avulla oli mahdollista hallita elinikäkustannuksia käynnissä olevan tuotantojärjestelmän osalta. Merkittävimpien korvausinvestointiehtotusten vertailemiseksi laadittiin myös elinjaksokustannustarkastelut, joilla pystyttiin arvioimaan korvausinvestointivaihtoehtojen kannattavuutta.

Yhtenä merkittävänä kriittisyystarkastelun tuloksena oli löydös merkittävästä tuotannollisesta pullonkaulasta. Tämän osalta todettiin, että jos pullonkaula poistetaan kehitysinvestoinnin avulla, on mahdollista saavuttaa merkittävä kapasiteettilisäys tuotteelle, jolla on kysyntää. Näin syntyneelle kehitysinvestointi ehdotukselle laadittiin tuottavuuslaskelmaskenaariot, joiden perusteella yritys päätyi investoimaan ehdotettuun kehityskohteeseen.

### *Esimerkki 2*

Ulkomaisessa omistuksessa olevan, Suomessa toimivan tehtaan tavoitteena oli kaksinkertaistaa tuotantomääränsä uusien markkinoiden avautuessa valmistamalleen tuotteelle. Tämän vuoksi tehtaalla oli tarve perustella ulkomaiselle omistajalle, mihin tuotantojärjestelmän osiin pitää investoida, jotta tehtaan toimitusvarmuus säilyisi lisääntyneen kysynnän ja kasvavan tuotantomäärän yhteydessä.

Tällä kohteella kunnossapidontietojärjestelmästä ei ollut saatavissa laadukasta dataa, jolloin investointisuunnitelman teko perustui ainoastaan asiantuntija-arvioin toteutettuun kriittisyystarkasteluun, joka huomioi mahdollisten vikaantumisten aiheuttamat tuotannon keskeytysvaikutukset ja kustannukset sekä arviot laitteiden jäljellä olevasta eliniästä.

Näiden tulosten perusteella oli mahdollista tunnistaa tarvittavat investointikohteet ja perustella omistajalle ne mahdollisten tuotantomenetysten yhteydessä odotettavissa olevat kustannusvaikutukset, jos investointia ei tehtäisi.

### *Esimerkki 3*

Ulkomaisessa omistuksessa oleva, Suomessa toimiva tehdas oli ollut toiminnassa 15 vuotta. Tänä aikana merkittäviä tuotannon katkoksia ei ollut toteutunut. Kuitenkin tehtaan laitteisto oli alkanut käynnissä olon myötä ikääntyä. Lisäksi valmistuksessa käytettävä raaka-aine oli laitteistolle kulutavaa, joten tuotantoprosessin komponenttien materiaalien laatuvaatimukset olivat korkeita. Tämän vuoksi useiden varaosien toimitusaika saattoi olla jopa puoli vuotta.

Kuvattu tilanne aiheutti tehtaalle merkittävän riskin toiminnan jatkuvuudelle. Toki valmistetulle tuotteelle oli kysyntää, mutta tehtaalla oli tunnistettu skenaario, jossa yli kolmen päivän tuotannon keskeytyminen aiheuttaisi asiakkaiden hakeutumisen kilpailevien toimijoiden pariin. Näin ollen heidän tuotteen kysyntä loppuisi ja tehtaan toiminnan jatkuvuus vaarantuisi.

Tämän vuoksi tavoitteena oli muodostaa tarkastelu kriittisten varaosien saatavuuden varmistamiseksi. Koska kunnossapidontietojärjestelmästä ei ollut saatavissa laadukasta dataa, perustui kriittisten varaosien hallinnan ohjelma asiantuntijoiden avulla tehtyyn kriittisyystarkasteluun. Tässä oleellisena osana oli tunnistaa komponenttien kriittisyyden lisäksi niiden toimitusaika. Näin tehdas sai arvokasta lisätietoa kriittisten varaosien ja siten toimitusvarmuuden hallintaan.

## Keskeiset opit

- Kriittisyysanalyysia on mahdollista hyödyntää useiden eri tavoitteiden näkökulmasta tuotanto-omaisuuden hallinnassa.
- Tällä hetkellä kunnossapidontietojärjestelmistä on harvoin saatavissa riittävän tarkkaa dataa, jotta sitä pystytään hyödyntämään tuotanto-omaisuuden hallinnan toimenpiteitä kehitettäessä. Tämä ei tarkoita sitä, etteikö kunnossapidon datan kerääminen ja hyödyntäminen olisi tärkeätä, vaan sitä, että tämä tiedonkeruu on suunniteltava hyvin, jotta datan ja analyysien hyödyntäminen olisi mahdollista ilman erillistä kriittisyystarkastelua.
- Tuotantojärjestelmän hyvin tuntevat asiantuntijat (esim. operaattorit, kunnossapitäjät ja työnjohto) pystyvät varsin luotettavasti arvioimaan järjestelmän kriittiset komponentit ja näiden aiheuttamien vikaantumisten seurausvaikutukset.

# 4.9

## KIERTOTALOUDEN LIIKETOIMINTAMALLIT

Jyri Hanski

Kierrättämisen ja resurssitehokkuuden parantamisen lisäksi kiertotalouden muotoja ovat myös uusiutuvien materiaalien hyödyntäminen, tuotteiden uudelleenkäyttö, omaisuuden tuottavuuden lisääminen jakamislustoilla, tuotteiden tarjoaminen palveluna ja tuotteiden elinkaarten pidentäminen. Kiertotalouden moninaisia liiketoimintamalleja ja esimerkkejä on koottu alla olevaan taulukkoon (Taulukko 4.4).

Taulukko 4.4. Kiertotalouden liiketoimintamallit (Valkokari et al., 2019)

Liiketoimintamalli	Määritelmä	Esimerkki
Uusiutuvien materiaalien hyödyntäminen	Uusiutumattomat materiaalit ja niistä valmistetut tuotteet korvataan vastaavilla uusiutuvilla, kierrätettävillä tai biohajovilla aineilla ja tuotteilla.	mäntyöljypohjainen diesel on valmistettu selluntuotannon sivuvirrasta ja korvaa fossiilipohjaista dieseliä ajoneuvojen polttoaineena.
Tuotteiden uudelleenkäyttö ( <i>renewability</i> ) ja resurssitehokkuus	Tavoitteena on arvon löytäminen kaikista materiaalivirroista mukaan lukien jätteet, käytetyt tuotteet ja tuotannon sivuvirrat.	Hevostallien kuivike- ja lantahuoltopalvelut. Tallien tarvitsemaa kuivike toimitetaan ja kertynyt lanta kerätään hyödynnettäväksi paikallisessa voimalaitoksessa.
Omaisuuden tuottavuuden lisääminen jakamislustoilla ( <i>sharing platform</i> )	Jakamislusta kytkee tuotteiden omistajat ja niiden potentiaaliset käyttäjät yhteen. Jakamislustat lisäävät tuotteiden käyttöastetta ja vähentävät tarvetta uusien tuotteiden valmistukselle.	Alustaratkaisu yhdistää tuotannon, myynnin, jälleenmyyjät ja käyttäjät. Reaaliaikainen myyntiennuste ohjaa tuotantoa vähentäen sekä materiaalihukkaa sekä saatavuusongelmia.
Tuotteiden tarjoaminen palveluna ( <i>product as a service</i> )	Tuotteen valmistaja säilyttää toimitetun tuotteen omistajuuden. Valmistajalla on siten insentiivi tuotteen elinkaarikustannusten ja käytön optimointiin.	Energiaремontti-palvelun tuottama hyöty jaetaan palvelun tarjoajan ja asiakkaan kesken. Asiakas hyötyy alentuneiden energiakustannusten lisäksi siitä, että hänen ei tarvitse suorittaa kertainvestointia.
Tuotteiden elinkaarten pidentäminen ( <i>life extension</i> )	Tuotteen käyttöiän pidentäminen alkuperäisessä käyttötarkoituksessa maksimoi tuotteista saatavan arvon elinjakson aikana.	Tarpeettomaksi jääviä laitteita hyödynnetään uusinvestoinneissa ja varaosina sekä myydään yrityksen ulkopuolelle.

On huomattava, että usein kiertotalouden periaatteiden toteuttaminen käytännössä vaatii myös verkostolta uusien toimijoiden mukaan ottamista. Tämä korostuu etenkin laitteiden ja järjestelmien ensimmäisen käyttövaiheen lopussa. Muutoksessa tarvitaan innovatiivisia toimijoita, toimintamalleja ja valveutuneita käyttäjiä, jotta kiertotalouden periaatteista saataisiin ulosmitattua maksimaalinen taloudellinen hyöty.

## Keskeiset opit

- Kiertotalous pitää sisällään monenlaisia strategioita materiaalikiertojen pidentämiseen, kaventamiseen ja sulkemiseen.
- Keskeisiä kiertotalouden liiketoimintamalleja ovat uusiutuvien materiaalien hyödyntäminen, tuotteiden uudelleenkäyttö ja resurssitehokkuus, omaisuuden tuottavuuden lisääminen jakamislustoilla, tuotteiden tarjoaminen palveluna ja tuotteiden elinkaarten pidentäminen.
- Siirtymisessä kiertotalouden malleihin tarvitaan innovatiivisia toimijoita, toimintamalleja ja valveutuneita käyttäjiä

# 4.10

## ELINJAKSOKUSTANNUSTEN MALLINTAMINEN: CASE HÄIRIÖTÖN SÄHKÖNSYÖTTÖ

*Helena Kortelainen ja Minna Räikkönen*

### Johdanto

VTT on toteuttanut lukuisia elinjaksokustannusten ja kustannus-hyötytarkastelujen laskennan malleja ja demonstroinut laskentaa MS-Excel-ympäristössä. Tässä luvussa kuvataan tarkemmin häiriöttömän tehonsyöttöjärjestelmän elinjaksokustannus-mallia, joka on toteutettu osana EU-rahoitteista SustainValue hanketta (Uusitalo ym., 2015; Panerese ym., 2014). Häiriöttömän toiminnan takaavia akkuvarmennettuja tehonsyöttöjärjestelmiä hyödynnetään esimerkiksi teollisuuden ja tietoliikennejärjestelmien kohteissa, joissa kriittisten laitteiden sähkönsyötön jatkuvuus ja 24/7 toiminta on varmistettava myös sähköverkon häiriötilanteissa. Myös uusien energiantuotantomuotojen - kuten tuuli- ja aurinkosähkö - hyödyntäminen edellyttää sähkönsyötön jatkuvuuden turvaamista. Elinjaksokustannusten mallinnuksen tavoitteena oli luoda työkalu, jonka avulla voidaan luoda toimittajalle ja järjestelmää hankkivalle asiakkaalle yhteinen näkemys tuotteen käytön aiheuttamiin kustannuksiin ja sen avulla saavutettaviin hyötyihin.

### LCC mallin toteutus

#### *Kustannusrakenteen määrittely*

Kustannusrakennetta määriteltäessä tunnistettiin kaikki ne kustannustekijät tai muuttujat, joilla on merkitystä järjestelmän suunnitellun käyttöiän kustannusten näkökulmasta. Kustannusrakenne määriteltiin yrityksen asiantuntijoiden ja tutkijoiden yhteistyönä. Kustannusrakennetta tarkasteltiin hierarkkisesti aloittaen laajemmista kategorioista, joita työn kuluessa tarkennettiin. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 4.5) esitetään esimerkin tunnistetuista kustannuskategorioista ja kustannustekijöistä sekä niihin liittyvistä muuttujista. Kustannustekijät voivat olla sellaisenaan LCC-laskentamallin syöttöarvoja (esim. hankintahinta) tai ne voivat edellyttää yksityiskohtaisia laskelmia (esim. energiankulutus tai tuotanto). Kustannusrakenteen kolmas taso esittää muuttujia, joita käytetään kustannustekijöiden laskennassa.

*Taulukko 4.5. Kustannusrakenne, kustannustekijät sekä esimerkkejä muuttujista häiriöttömän sähkönsyötön esimerkkitapauksessa*

Kustannus-kategoria	Kustannustekijä	Kustannusmuuttuja
Hankinta	Hankintahinta	
	Asennuskustannukset	
Ennakoiva kunnossapito	Ennakoivan kunnossapidon tehtävät/vuosi	
	Kustannus/tehtävä	Työtunnit Hinta/työtunti Varaosat ja muut tarvikkeet
Korjaava kunnossapito	Korjaavan kunnossapidon tehtävät/vuosi	Keskimääräinen vikaväli (MTBF) Akut: käyttöpaikan lämpötilaprofiili, odotettavissa oleva elinikä, lämpötilan vaikutus elinikään.
	Kustannus/tehtävä	Työtunnit Hinta/työtunti Varaosat ja muut tarvikkeet
	Seurauskustannukset/vika	Epäkäytettävyysskustannukset
Energia	Sähkön kulutus/vuosi	Kuormitus ( <i>Electrical load</i> ) Hyötysuhde/tehokkuus Käyttötunnit/vuosi Ilmastoinnin tarve
	Sähköntuotanto (esim. tuuli tai polttokennot)/vuosi	Kuormitus ( <i>Electrical load</i> ) Hyötysuhde/tehokkuus Käyttötunnit/vuosi Polttoaineen kulutus/h
	Sähkönsiirtomaksu/vuosi	
Epäkäytettävyys	Epäkäytettävyysaika/vuosi	
	Epäkäytettävyyskustannus/aikayksikkö	
Järjestelmän poistaminen	Poistettujen komponenttien määrä / järjestelmän käyttöikä	
	Kustannus/poisto	
	Järjestelmän poistamisen kustannus	
Laskennan perus-parametrit	Taloudelliset parametrit	Sähkön hinta/kWh Epäkäytettävyyden hinta/h Diskonttokorko Polttoaineen hinnat
	Muut parametrit	Tehokerroin (default) Jäähdytyksen tarve (default)
Tarkasteltavan järjestelmän kuvaus (räätälöitävät piirteet)	Käyttöaika	Suunniteltu käyttöikä Käyttötunnit/vuosi
	Käyttöympäristö	Vaadittu sähkökuorma Sähkökatkojen määrä/vuosi Sähkökatkojen keskimääräinen kesto

		Lämpötilaprofiili
--	--	-------------------

Kustannusrakenteen määrittelyn seuraavassa vaiheessa määritellään ne matemaattiset funktiot, joilla kustannusmuuttujat vaikuttavat elinjaksokustannuksiin. Funktiot voivat olla hyvinkin monimutkaisia ja vaatia sovellusalan erityisosaamista.

### *LCC malli - datan hankinta*

Kustannusmalli edellyttää vielä siihen liittyvien teknisten ja kustannustietojen keräämistä. Kerätyn tiedon laatuun ja luotettavuuteen on kiinnitettävä erityisesti huomiota. Osa laskennassa vaadituista tiedoista on hyvin yleisiä (esim. polttoaineiden hinnat), ja osa hyvin spesifejä (esim. käyttöympäristöjen lämpötilaprofiilit). Häiriöttömän sähkönsyötön LCC casessa laitevalmistajalla oli tietokannoissaan runsaasti komponentteihin liittyviä tietoja. Kunnossapitotarpeisiin ja käyttöympäristöihin liittyviä tietoja täydennettiin asiantuntija-arvioilla sekä toimittajan että käyttäjien edustajia haastatteleamalla. Hintatiedot saatiin julkisista lähteistä.

LCC-laskenta kohdistuu tulevaisuuteen, joten hintojen kehittymiseen liittyy aina suuri epävarmuus. Tiedon epävarmuuden vaikutusta tuloksiin arvioidaan herkkyyksianalyysillä. Tässä tapauksessa epävarmuutta arvioidaan LCC laskentatyökaluun integroidulla Monte Carlo simuloinnilla.

### *LCC malli - prototyyppi MS Excel-ympäristössä*

Elinjaksokustannusten laskentaa ja mallin demonstrointia varten toteutettiin LCC laskentatyökalu MS Excel 2010 ohjelmalla. Excel valittiin alustaksi, koska taulukkolaskentaohjelma on yleisessä käytössä eikä siten vaadi IT investointeja. Excel tukee hyvin tarvittavaa laskentaa ja laskentatyökalu on toteutettavissa järkevällä työmäärällä eikä esim. lisäkoulutusta uuden ohjelmiston tai järjestelmän käyttöön tarvita. Syöttötiedot annetaan Excel VBA-kielellä toteutettujen syöttösivujen kautta ja käyttöliittymä helpottaa työkalun käyttöä asiakastilanteissa (ks. seuraavat kuvat).

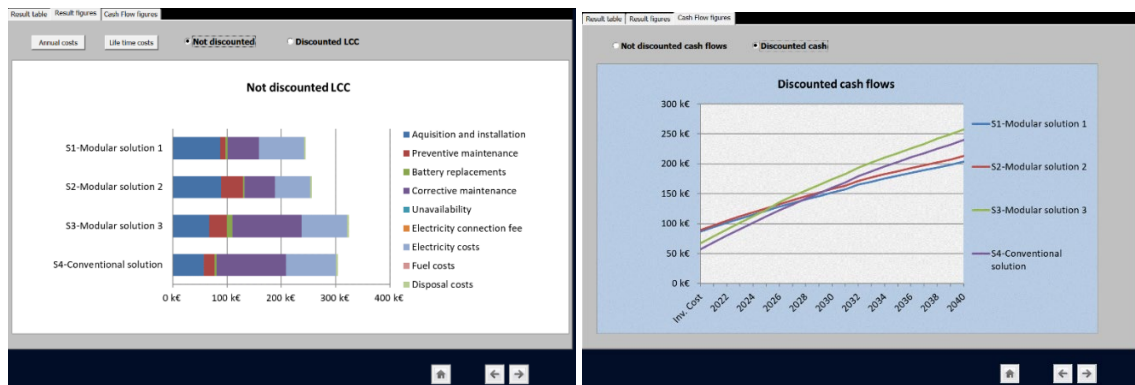
Kuva 4.12. Esimerkkinä olevan LCC-mallin käyttöliittymä ja esimerkki tiedonsyöttösivusta

Esimerkkinä oleva LCC malli mahdollistaa viiden erilaisen sovellusratkaisun vertailun. Tiedonsyöttösivulla on esimerkki hankintahinnan syöttämisestä. Samalla valitaan järjestelmän komponentit ja syötetään valittuihin komponentteihin liittyviä teknisiä ja taloudellisia tietoja.

### *LCC malli - laskennan tulokset*

Esimerkkinä olevassa LCC-mallissa taloudelliseksi tunnusluvuiksi valittiin odotettavissa olevat vuosikustannukset, elinjaksokustannukset, diskontattu elinjaksokustannus ja kassavirta. Tulokset raportoidaan sekä taulukkomuodossa että kuvaajina, joista esimerkkejä alla.

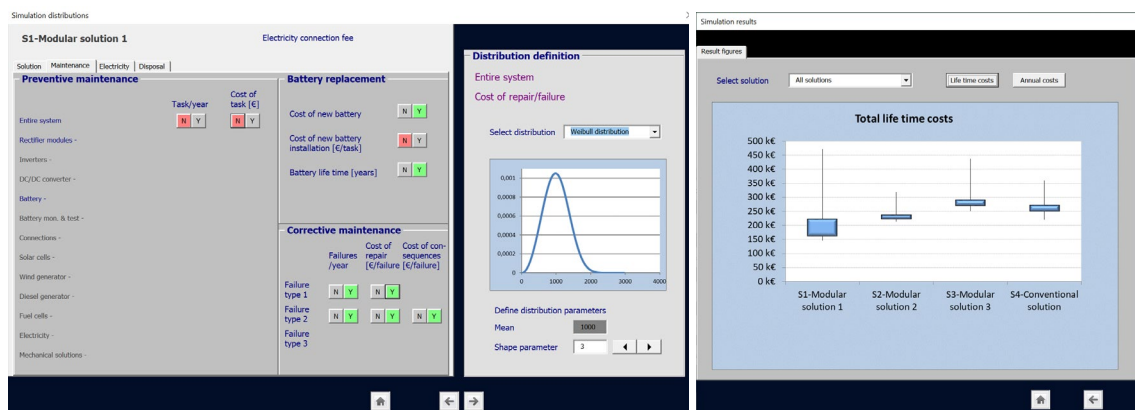




Kuva 4.13. Esimerkinä LCC-mallin tulokuvaajista

### *Epävarmuuden arviointi herkkyyssanalyysin avulla*

Herkkyysanalyysi on toteutettu Monte Carlo simuloinnilla. Herkkyyssanalyysin avulla päätöksen tekijä voi arvioida esimerkiksi sitä, miten paljon vikakustannusten kaksinkertaistuminen vaikuttaisi hankinnan kannattavuuteen. Herkkyyssanalyysiä varten käyttäjä määrittää haluamilleen parametreille jakaumakäyrät. Jakauman määrittely voidaan tehdä graafisen työkalun avulla. Valittavana on normaalijakauma sekä Weibull kaikille muille kuin lukumuuttujille. Lukumuuttujille (esim. kunnossapitotehtävien määrä/vuosi) käytössä on vain Poisson jakauma. Herkkyyssanalyysin parametrien syöttösivu ja laskentaesimerkki on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 4.14. Monte Carlo simuloinnin parametrien syöttösivu ja herkkyyssanalyysin laskentaesimerkki (oikealla). Laskentaesimerkin (vasemmalla) pystyviiva kuvaa kaikkien simulointiajojen hajontaa. "Laatikon" alareuna on 25% alakvartaali ja yläreuna 75% yläkvartaali

Häiriöttömän sähkönsyötön LCC esimerkin herkkyyssanalyysissä (Kuva 4.14) tarkasteltiin korjaavan kunnossapidon tarpeen ja kustannusten vaikutusta eri vaihtoehtojen elinjakso-kustannuksiin. Viidensadan simulointikierroksen jälkeen nähdään, kuinka näistä muuttujista johtuva epävarmuus vaikuttaa elinjakso-kustannuksiin. Neljästä vertailussa olleesta ratkaisusta Ratkaisu 1 näyttäisi olevan kannattavampi vaihtoehto, joskin erot Ratkaisun 1 ja 2 välillä on hyvin pieni ja vaihtoehtoon 1 liittyvä epävarmuus on huomattavasti suurempi kuin Ratkaisun 2 kohdalla. Mikäli Ratkaisu 1 on loppukäyttäjälle kiinnostavampia, lisätiedon kerääminen ja herkkyyssanalyysin toistaminen olisi hyödyllistä. Ratkaisu 1 ja Ratkaisu 2 näyttäisivät siis hyvin tasavahvoilta kandidaateilta jatkotarkasteluun, ja herkkyyssanalyysin jatkua muitakin tärkeiksi katsottuja muuttujia varten.

## Keskeiset opit

- Kustannusrakenteessa ja kustannusten mallintamisessa on keskityttävä niihin kustannustekijöihin tai muuttujiin, joilla on merkitystä järjestelmän suunnitellun käyttöiän kustannusten näkökulmasta. Tämä säästää mallintamisen vaatimia resursseja.
- LCC-tarkasteluihin vaadittavaa tietoa on saatavissa julkisista lähteistä ja laitevalmistajien ja loppukäyttäjien tietokannoista, mutta yleensä tietoja joudutaan täydentämään asiantuntija-arvioilla.
- Koska tarkastelut koskevat tulevaisuuden kustannuksia, pitää tuloksia arvioida esim. herkkyystarkasteluilla.

# 4.11

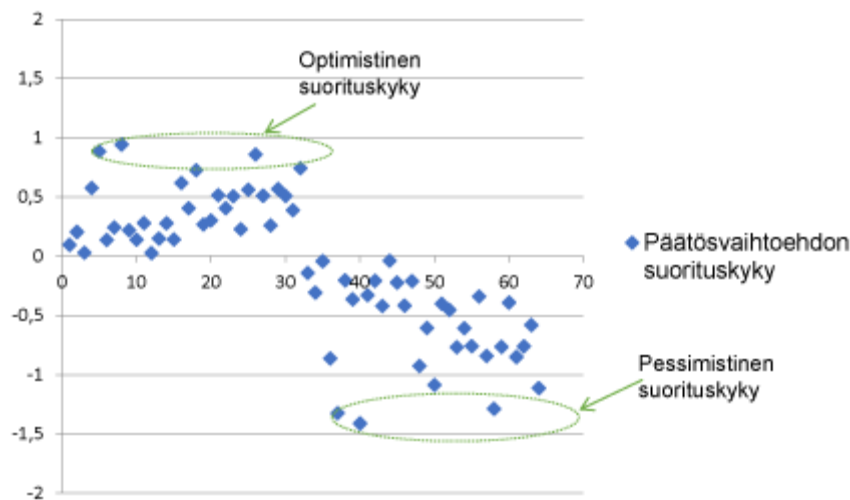
## ROBUSTISUUS STRATEGISESSA OMAISUUDEN HALLINNASSA

*Jyri Hanski*

Strategisessa omaisuuden hallinnassa investointien aikahorisontti on tyypillisesti pitkä ja niissä tulisi huomioida eri sidosryhmien vaatimukset, päätöksentekoon vaikuttavat kriteerit sekä mahdolliset tulevaisuuden kehityskulut eli skenaariot. Lisäksi investointeihin liittyvä epävarmuuden hallinta, kustannusten ja hyötyjen jakaminen ja päätöksentekoon vaikuttavien kriteerien esittäminen rahamääräisessä muodossa voivat olla haastavia tehtäviä päätöksentekijöille. Nämä tekijät vaikeuttavat päätösvaihtoehtojen suorituskyvyn arviointia esimerkiksi kustannus-hyöty- tarkastelujen ja simulointimallien avulla. Tästä syystä valittujen strategioiden tulisi olla mahdollisimman robusteja eli suoriutua tarpeeksi hyvin riippumatta toteutuneesta skenaariosta. Esimerkkinä tällaisesta monimutkaisesta päätöstilanteesta voidaan pitää hävittäjähankintoja ja pitkän aikavälin investointeja energiajärjestelmiin tai tuotantolaitoksiin.

Robusti päätöksenteon tuki (*Robust Decision-Making, RDM*) on menetelmä pitkän aikavälin strategisen omaisuuden hallintaan liittyvän epävarmuuden hallintaan. Menetelmän tavoitteena on tunnistaa joukko mahdollisia tulevaisuuden skenaarioita ja auttaa tekemään päätöksiä, jotka ovat robusteja mahdollisimman monissa tunnistetuissa skenaarioissa (Scrieciu ym., 2014). Strategian robustisuuden visualisointi -menetelmä (*Strategy Robustness Visualization Method, SRVM*) on sovellys RDM-menetelmästä ja sitä voidaan käyttää päätösvaihtoehtojen robustisuuden, tai käänteisesti haavoittuvuuden, arviointiin.

Menetelmässä kartoitetaan ensin vallitseva päätösympäristö eli tunnistetaan ja sitoutetaan keskeiset päätöksentekoon vaikuttavat sidosryhmät ja valitaan tai luodaan skenaariot, joilla päätösvaihtoehtojen suorituskyyä testataan. Tämän jälkeen valitaan yhdessä keskeisten sidosryhmien kanssa tärkeimmät päätöskriteerit sekä kriteerien arvotuksessa käytettävä asteikko. Seuraavaksi valitaan tai luodaan rajattu määrä päätösvaihtoehtoja. Päätösvaihtoehtojen suorituskyy arvioidaan erikseen jokaisen päätöskriteerin ja skenaarion suhteen. Tuloksena saadaan jakaumat joko mallinnuksen tuottamana tai asiantuntija-arvioina tehdyistä vastauksista. Jotta päätösvaihtoehtojen robustisuuteen päästään käsiksi, tuloksista valitaan minimi- ja maksimiparit havainnollistamaan optimistista ja pessimististä suorituskyyä.



Kuva 4.15. Optimistinen ja pessimistinen suorituskyky

Tavoitteena on, että päätösvaihtoehdoista voidaan havainnollistaa kaikki mahdolliset skenaario-suorituskyky -yhdistelmät yhdessä kuvassa. Epävarmuus havainnollistuu minimin ja maksimin etäisyydellä, kun taas robustisuus näkyy viivojen läheisessä sijainnissa suhteessa toisiinsa. Menetelmän keskeisenä antina on robustisuuden osoittamisen lisäksi myös päätösvaihtoehtoihin liittyvien keskeisten epävarmuuksien osoittaminen päätöksentekijöille.

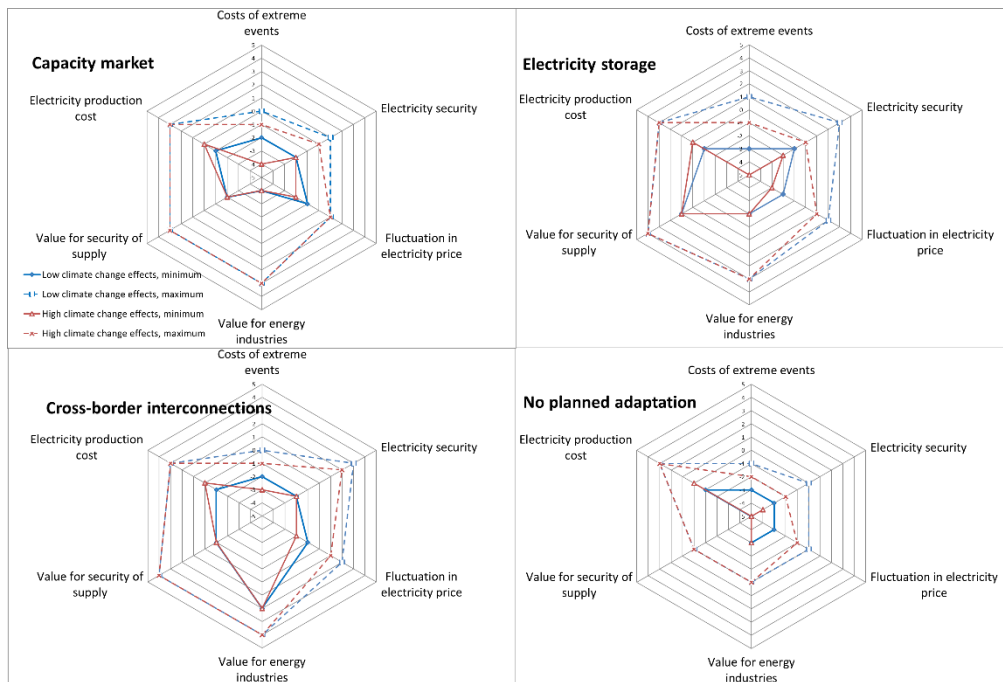
## Case: Energiasektorin ilmastonmuutosstrategiat

Casessa kuvataan uusiutuvan energian tuotannon ja kysynnän sopeutuvuutta ilmastonmuutoksen vaikutuksiin Pohjois-Euroopassa vuonna 2050. Sen tavoitteena oli arvioida monikriteerisesti strategiseen omaisuuden hallintaan liittyvien päätösvaihtoehtojen suorituskykyä. Casen rakentamiseen ja kommentointiin osallistui useita energiasektorin asiantuntijoita, päätöksentekijöitä sekä tutkijoita. Tarkasteltuja skenaarioita ovat nykytilanne eli baseline-skenaario, matalan ilmastonmuutoksen ja kestävyys skenaario sekä hallitsemattoman ilmastonmuutoksen ja eriarvoisuuden skenaario. Baseline-skenaariota kuvataan suorituskykynä 0 ja se kuvaa tarkasteluhetken tilannetta eri kriteerien suhteen.

Arvioidut päätösvaihtoehdot ovat

1. ei suunniteltua ilmastonmuutokseen sopeutumista (*no planned adaptation*),
2. kapasiteettimarkkinoiden laajamittainen käyttäminen tuotantokapasiteetin ja kysyntä-joustokapasiteetin lisäämiseen (*capacity market*),
3. erilaisten sähkön varastointitapojen lisääminen (*electricity storage*) sekä
4. rajat ylittävä yhteistyö sähkömarkkinoilla (*cross-border interconnections*).

Näitä päätösvaihtoehtoja arvioidaan seuraavilla kriteereillä: sähkön tuotantokustannukset, sään ääri-ilmiöiden kustannukset, sähkötoimituksen varmuus, vaihtelu sähkön hinnassa ja arvo energia-teollisuudelle sekä huoltovarmuudelle.



Kuva 4.16. Päätösvaihtoehtojen robustisuus casessa ”Energiasektorin sopeutuminen ilmastonmuutokseen Pohjois-Euroopassa”

Tulokset osoittavat, että kaikki päätösvaihtoehdot suoriutuivat yleisesti paremmin kuin ”ei suunniteltua sopeutumista”. Mitä lähempänä hämähäkkikaavion ulkoreunaa viivat ovat, sitä paremmin päätösvaihtoehto suoriutuu kyseisessä päätöskriteerissä. Lisäksi mitä tiukemmin viivat ovat pak-kautuneita, sitä robustimpi eli riippumattomampi käytetystä skenaariosta päätösvaihtoehto on. Yleisenä huomiona tuloksista voidaan sanoa, että eri skenaarioyhdistelmillä ei nähty tässä casessa suurta eroa keskenään, koska eriväriset katko- ja kiinteäviivaparit olivat pääsääntöisesti lähellä toisiaan. Asiantuntija-arvioissa ja mallien antamissa tuloksissa oli kuitenkin merkittäviä eroja minimin ja maksimin välillä. Päätöksentekijä voi päätellä tästä, että kohtuullisen suurella todennäköisyydellä päätösvaihtoehdon suorituskyky tietyssä skenaariossa asettuu katkoviivan ja kiinteän viivan väliin.

Robustin strategian tulisi olla ”tarpeeksi hyvä” riippumatta toteutuneesta skenaariosta. Päätöksentekijän tulisi asettaa jokaiselle kriteerille tietty kynnsarvo, joka voi olla esimerkiksi nykyhetken vertailukohta (arvo 0 hämähäkkikaaviossa). Esimerkiksi näistä päätösvaihtoehdoista mikään ei saavuta tätä raja-arvoa kaikissa kriteereissä. Suositeltava ratkaisu tässä tapauksessa voisi olla yhteisten piirteiden löytäminen päätösvaihtoehtojen välillä ja näiden sovellettu käyttöönotto. Lisäksi valittujen päätösvaihtoehtojen yhdistettävyyttä ja muokattavuutta tulisi pohtia uuden tiedon valossa.

## Keskeiset opit

- Robusti strategia suoriutuu riittävän hyvin riippumatta toteutuneesta tulevaisuusskenaariosta
- Robustisuus on tärkeä päätöksenteon kriteeri monimutkaisissa päätöstilanteissa kuten hävittäjähankinnoissa ja pitkän aikavälin investoinneissa energiajärjestelmiin tai tuotantolaitoksiin
- SRVM- menetelmällä voidaan havainnollistaa päätösvaihtoehtojen robustisuutta ja keskeisiä haavoittuvuuksia

## LÄHTEET

- Ahlqvist, T. (2007). VTT Backpocket Roadmap, Instructions for VTT's personnel. Espoo, Finland
- Ahonen, T., Jännes, J., Kunttu, S., Valkokari, P., Venho-Ahonen, O., Välisalo, T., Ellman, A., Hietala, J-P., Multanen, P., Mäkiranta, A., Saarinen, H. & Franssila, H., (2012). Käyttövarmuuden hallinta: standardista käytäntöön. Espoo. VTT Technical Research Centre of Finland. 84 p. (VTT Technology; No. 69). <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/technology/2012/T69.pdf>
- Boardman A.E., Greenberg D.H., Vining A.R. & Weimer, D.L. (2006) Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice, 3<sup>rd</sup> ed. Prentice Hall.
- Brynjolfsson and Hitt, 2003. Computing productivity: firm-level evidence. Review of Economics and Statistics. Vol. 85. No. 4. pp. 793-808.
- Fuguitt, D. & Wilcox, S.J. (1999) Cost-Benefit Analysis for Public Decision Makers. Quorum Books; Westport, CT.
- Gavish, N. et al. (2015) 'Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks', Interactive Learning Environments. Taylor & Francis, 23(6), pp. 778–798. doi: 10.1080/10494820.2013.815221.
- Holgado, M., Macchi, M. and Fumagalli, L. (2016) 'Value-in-use of e-maintenance in service provision: survey analysis and future research agenda', *IFAC-PapersOnLine*. Elsevier B.V., 49(28), pp. 138–143. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.11.024.
- Hoyland, A. & Rausand, M. (2009) System reliability theory. Models and statistical methods. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, Inc.
- IEC (2015) *Strategic asset management of power networks*. White Paper.
- IEC 60050(192): International electrotechnical vocabulary – Part 192: Dependability. The International Electrotechnical Commission. 256 p.
- IEC 60300-3-3 Ed.3.0. 2017. Dependability management – Part 3-3. Application guide – Life Cycle Costing
- IEC 60812 (2018): Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA). The International Electrotechnical Commission. 170 p.
- Kortelainen, H., Hanski, J. & Valkokari, P. 2020 Advanced technologies for effective asset management - two cases in capital intensive branches. The 4th IFAC AMEST'20 Workshop. Sept.10-11. 2020. Cambridge, UK.
- Koskelo M. & Nousiainen A., 2019, 58-66, In: Kaartti V., Guiland A. (Eds.), (2019). Service Innovation and Design - Stories of the Emerging Themes and Impact of the Education. Laurea Julkaisut / Laurea Publications 121, Laurea-ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-799-530-6>
- Kosola, J. (2012). Puolustusvoimien projektiohje. Maanpuolustuskorkeakoulu. Julkaisusarja 5. No. 11. Tampere, 2012.
- Laarni, J, Pakarinen, S, Bordi, M, Kallinen, K, Närväinen, J, Kortelainen, H, Lukander, K, Pettersson, K, Havola, J & Pihlainen, K 2020, Promoting soldier cognitive readiness for battle tank operations through bio-signal measurements. in H Ayaz (ed.), *Advances in Neuroergonomics and Cognitive Engineering: Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Neuroergonomics and Cognitive Engineering, and the AHFE International Conference on Industrial Cognitive Ergonomics and*

- Engineering Psychology*, 2019. Springer, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 953, pp. 142-154.
- Milgram, P. and Kishino, F. (1994) 'Taxonomy of mixed reality visual displays', *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77(12), pp. 1321-1329.
- Moubray, J. (2001) *Reliability-Centered Maintenance*. 2<sup>nd</sup> edition. Butterworth-Heinemann Ltd.
- Niskanen, T. (1986) *Analyttinen hierarkiaprosessi, menetelmä ja liiketaloustieteelliset sovellukset. Laskentatoimen ja menetelmätieteiden laitos, Vaasan Korkeakoulu.*
- Ojasalo K., Koskelo M., Nousiainen, A.K. 2015. Foresight and Service Design Boosting Dynamic Capabilities in Service Innovation. In: Agarwal R., Selen W., Roos G., Green R. (eds) *The Handbook of Service Innovation*. Springer, London
- Paasi, J., Valkokari, P. and Maijala, P., Toivonen, S., Rantala, T., Molarius, R. (2008) *Managing Opportunities, Risk and Uncertainties in New Business Creation - Working Report*, VTT Publications.
- Palmarini, R. et al. (2018) 'A systematic review of augmented reality applications in maintenance', *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49(February), pp. 215-228. doi: 10.1016/j.rcim.2017.06.002.
- Panerese, D., Schaeperkoetter, C., Raukola, J., Reunanen, M., Macci, M., Sergeant, N. (2014) Demonstration of SustainValue outputs in different environments. Deliverable D5.3. <http://www.sustainvalue.eu/>
- Räikkönen, M, Kunttu, S., Poussa, L., Blobner, C. (2013) Benefits, risks and costs of security measures. A portfolio-oriented decision-support approach for political decision-making. Proceedings of the 8<sup>th</sup> Future Security Research Conference. Berlin, 17 - 19 Sept. 2013. In: Lauster, M. (ed). Fraunhofer Verlag. Stuttgart, 442 - 444.
- Rasheed, A., San, O. and Kvamsdal, T. (2020) 'Digital Twin: Values, Challenges and Enablers from a Modeling Perspective', *IEEE Access*. IEEE, 8, pp. 21980-22012. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970143.
- Rowe, G. and Wright, G. (1999) 'The delphi technique as a forecasting tool', *International Journal of Forecasting*.
- Saaty, T. L. 1980. *The Analytical Hierarchy Process*. United States of America:McGraw-Hill Inc.
- Välisalo, T., Räikkönen, M., Kunttu, S., Zucchetti, P., Vatunen, A-M. & Takala, J. (2017) Mikä investointi kannattaa toteuttaa ja mikä ei? Tutkimuksesta tukea investointipäätöksiin. Kuntalehti. No. 1, pp.14-16.
- Räikkönen, M., Takala, J., Toshev, R., Välisalo, T., Uusitalo, T., Kunttu, S., Tilabi, S., Daneshpour, H., Shakeel, S. R., Zucchetti, P. & Vatunen, A.-M. (2017) *Towards risk-conscious investment decision-making and value creation*. VTT Technology, no. 282, VTT Technical Research Centre of Finland. Available at: [www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T282.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2017/T282.pdf)
- Schoemaker, P. J. H. and Mavaddat, V. M. (2000) 'Scenario planning for disruptive technologies', *Wharton on Managing Emerging Technologies*, (January), pp. 206-241.
- Scricciu, S. Ş. et al. (2014) 'Advancing methodological thinking and practice for development-compatible climate policy planning', *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(3), pp. 261-288. doi: 10.1007/s11027-013-9538-z.
- SFS-EN IEC 31010:2019. Riskienhallinta. Riskien arviointimenetelmät. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 251 p.
- SFS-EN-60300-3-4:2008: Dependability management - Part 3-4: Application guide - Guide to the specification of dependability requirements. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 43 p.
- SFS-ISO 55000: Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 46 p.
- Stickdorn, M., Hormess, M. E., Lawrence, A. and Scheider, J. (2018). *This Is Service Design Doing: Applying Service Design Thinking in the Real World*. O'Reilly Media, Canada.

- Uusitalo, T., Hanski, J., Reunanen, M., Kunttu, S. (2014) Support for Life Cycle Decision-Making in Sustainable Manufacturing: Results of an Industrial Case Study. *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World. Proceedings, Part II. IFIP Advances in Information and Communication Technology*: 439.
- Valkokari, P., Tura, N., Stähle, M., Hanski, J., & Ahola, T. (2019). Advancing Circular Business. VTT, LUT-University and Tampere University. Available: [https://tutcris.tut.fi/portal/files/17793709/Advancing\\_circular\\_business.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/17793709/Advancing_circular_business.pdf).
- Zwicky, F. (1967) 'The Morphological Approach to Discovery, Invention, Research and Construction', in *New Methods of Thought and Procedure*. doi: 10.1007/978-3-642-87617-2\_14.



# OSA 5

## TERMIT, KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT

## OSA 5 TERMIT, KÄSITTEET JA MÄÄRITELMÄT

Osa 5 esittelee tietämysperusteisen elinjakson hallinnan ja tuotanto-omaisuuden hallinnan kannalta keskeisiä termejä, käsitteitä ja määritelmiä. Tähän monitieteelliseen aihepiiriin liittyvä terminologia on vaihtelevaa ja sovelluskohtaista. Tästä syystä useiden englanninkielisten termien kohdalla on suomenkielisen käännöksen lisäksi useampia kuvauksia.

### **Asset Omaisuus, omaisuuserä**

- kohteet, asiat tai kokonaisuudet, joilla on tai voi olla arvoa organisaatiolle. Arvo vaihtelee eri organisaatioiden ja niiden sidosryhmien välillä, ja se voi olla aineellista tai aineetonta ja taloudellista ja ei-taloudellista. Fyysisellä omaisuudella tarkoitetaan yleensä organisaation omistamia laitteita, materiaaleja ja kiinteistöjä. (SFS-ISO 55000)

### **Asset life Elinikä**

- omaisuuden luomisesta sen käytöstä poistamiseen kuuluva jakso (SFS-ISO 55000)

### **Asset management Omaisuuden hallinta**

- koordinoitu toiminta, jolla hyödynnetään omaisuuden arvo. Sanalla ”toiminta” on laaja merkitys, ja se voi sisältää esimerkiksi toimintamallin, suunnittelun, suunnitelmat ja niiden toteuttamisen. (SFS-ISO 55000)

### **Asset portfolio Omaisuusvalikoima**

- omaisuudenhallintajärjestelmän soveltamisalan kattamat omaisuuserät. Omaisuusvalikoima muodostetaan yleensä hallituksi kokonaisuudeksi johdon tarkoituksiin. Fyysisten laitteiden valikoimat voidaan määritellä luokittain (esim. tehdas, laitteisto, työkalut, maa). Tietokoneohjelmien valikoimat voidaan määritellä esimerkiksi ohjelmiston julkaisijan tai alustan (esim. työasema, palvelin, keskusyksikkö) mukaan. (SFS-ISO 55000)

### **Asset replacement value (ARV) Omaisuuden jälleenhankinta-arvo**

- arvioitu pääomapanos, joka tarvitaan korvaamaan vanha laitos tai omaisuus samanlaisella, mutta uudella omaisuudella. Arvioitu pääomapanos on usein sama kuin kohteen palovakuutusarvo (FprEN 17485)
- suomenkielisessä kirjallisuudessa käytetään lyhennettä JHA (jälleenhankinta-arvo)
- kirjallisuudessa käytetään paljon myös termiä tehtaan jälleenhankinta-arvo (*Plant Replacement Value, PRV*)

### **Asset residual value Jäännösarvo**

- jäännösarvon<sup>11</sup> osalta on erotettava sisäinen (investointilaskenta) ja ulkoinen laskenta-toimi (kirjanpito). Investointilaskennassa jäännösarvo on investoinnin arvo sen käytön päätyttyä. Kirjanpidossa investoinnit on käsitelty poistoina, jolloin jäännösarvo on Investoinnin arvo, jossa otettu mukaan käyttö ja kuluminen sekä tekninen vanheneminen.

---

<sup>11</sup> <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/finance/asset-valuation/>

#### Asset specificity Omaisuuden erityisominaisuus (yrityskohtaisuus)

- tuotanto-omaisuuden ominaisuus tai piirre (kuten esimerkiksi erikoistunut tuotantokone), joka tekee siitä hyödyllisen yhteen tai harvoihin erityisiin tarkoituksiin ja siksi kukaan juu omistaja ei voi saada siitä samaa arvon tuottoa (FprEN 17485)

#### Asset system Omaisuuskokonaisuus

- useasta toisiinsa vaikuttavista tai liittyvistä osista koostuva omaisuus (SFS-ISO 55000)

#### Availability Käytettävyys

- 1) käytettävyys  $A(t_1, t_2)$  on käyttövarmuuden mittari (IEC 60050(192))
- 2) hetkellisestä käytettävyydestä käytetään symbolia  $A(t)$
- 3) käytettävyyden määritelmä (IEC 60050(192))

$$A = \frac{MTTF}{(MTTF + MTTR)}$$

- 4) muita käyttövarmuuden mittareita ovat mm. hetkellinen käytettävyys, keskimääräinen käytettävyys, asymptoottinen käytettävyys ja käytettävyys vakio-olosuhteissa (IEC 60050(192))
- 5) käytettävyys (EN 15341:2019)

$$Availability = \frac{Total\ operating\ time}{Total\ operating\ time + Downtime\ due\ maintenance}$$

- **Total operating time** on ajanjakso, jolloin järjestelmä toimii suunnitellusti
- **Downtime due maintenance** tarkoittaa kunnossapidosta johtuvaa toimintakelvottomuusaikaa

#### Availability (performance) Käyttövarmuus

- käyttövarmuudella tarkoitetaan kohteen kykyä suorittaa vaadittu toiminto (IEC 60050(192))
- kohteen kyky toimia vaaditulla tavalla. Käyttövarmuus sisältää käytettävyyden, turvallisuuden (*safety*), turvaamisen (*security*), kestävyys, taloudellisuuden ja niihin vaikuttavat tekijät (toimintavarmuuden, kunnossapidettävyyden, kunnossapitovarmuuden, käyttöolosuhteet ja käyttötavan). (SFS-EN 13306)

#### Availability based on operating time (%) Toiminta-aikaan perustuva käytettävyys (%) (EN 15341 (2019))

- Toiminta-aikaan per. käytettävyys (SFS-EN 13306)

$$Availability\ based\ on\ operating\ time = \frac{Operating\ time}{Required\ operating\ time}$$

- **Operating time** on ajanjakso, jolloin järjestelmä toimii suunnitellusti
- **Required operating time** on ajanjakso, jolloin järjestelmän on suunniteltu olevan toiminnassa. Suunniteltua toimintaa ei ole odotustila (*idle state*) eikä varalla olo (*standby*). Suunnitellussa toiminta-ajassa huomioidaan ulkoisista syistä johtuva mahdollisen toiminta-ajan menetys (esim. markkinakysyntä, lakisääteiset syyt, liiketoimintasyyt, resurssien puute, työajat).

#### Business environment Liiketoimintaympäristö

- kaikki markkinoista, teknologiasta ja yhteiskunnasta johtuvat ulkoiset tekijät, jotka vaikuttavat organisaation päätöksentekoon (EN 16646:2014)

### Capital expenditure (CAPEX) Investointikustannus

- omaisuuden (*asset*) hankintaan, asennukseen ja käyttöönottoon tarvittava investointi (ISO 15663)

### Consequential cost Seurauskustannukset

- kohteen epäkäytettävyys voi aiheuttaa käyttäjälle suoria ja epäsuoria kustannuksia, joita ovat mm. takuukustannukset, vastuukustannukset, epäkäytettävyyden aiheuttama tuoton menetys ja kustannukset, jotka aiheutuvat vaihtoehtoisen palvelun järjestämisestä (IEC 60300-3-3)

### Cost element Kustannustekijä, kustannuselementti

- kohteen elinjakokustannusten määrittelemiseksi on tarpeen jakaa kokonaiskustannukset sellaisiin osatekijöihin, joita voidaan mallintaa ja arvioida. Yleensä tämä hierarkkinen jako vastaa sitä tasoa, jolla organisaatiossa kerätään kustannustietoja. Kustannuselementti on (pienin) komponentti, jolle kustannustietoa on saatavissa tai voidaan kerätä. (IEC 60300-3-3)

### Cost category Kustannuskategoria, kustannuslaji

- kustannuselementit voidaan jakaa kustannuslajeihin, esimerkiksi kiinteisiin ja muuttuviin kustannuksiin tai toistuviin ja kertaluonteisiin kustannuksiin (IEC 60300-3-3)

### Cost Breakdown Structure (CBS) Kustannusrakenne, rakenteellinen erittely

- viitekehys, jonka avulla kokonaiskustannus jaetaan hierarkkisesti yhä pienempiin osiin, kunnes jokainen kustannuselementti voidaan erikseen määritellä ja arvioida (IEC 60300-3-3)

### Critical success factor Kriittinen menestystekijä

- ominaisuus, jolla voidaan varmistaa organisaation menestyminen (FprEN 17485 ja EN 16646)

### Dependability Luotettavuus, käyttövarmuus

- yleiskäsite, jota käytetään kuvaamaan käyttövarmuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä (IEC 60050(192))
- Suomenkielisissä lähteissä *dependability* käännetään myös termillä käyttövarmuus.

### Discount factor Laskentakorkokanta

- Laskentakorkokannan avulla eriaikaiset suoritukset muutetaan keskenään vertailukelpoiksi. Käytettävä laskentakorkokanta on yrityksen arvioitava asia. Käytännössä laskentakorko voidaan määrittää esimerkiksi asetetun tuottotavoitteen tai rahoituksen kustannuksen (esimerkiksi oman tai vieraan pääoman kustannus) perusteella.

### Failure Vikaantuminen

- vikaantumisella tarkoitetaan tapahtumaa, jonka tuloksena kohde menettää kykynsä suorittaa vaadittua toimintaa. Vikaantumisen jälkeen kohteessa on vika. IEC 60050(192))

### Failure rate Vikataajuus, vikaantuvuus

- 1) vikaantuvuudella tarkoitetaan todennäköisyyttä sille, että tietty kohde vikaantuu tietyllä ajanhetkellä. IEC standardit määrittelevät hetkellisen ja keskimääräisen vikaantuvuuden. (IEC 60050(192))
- 2) Vikataajuus havainnollistaa komponentin tai laitteen luotettavuuden kehitystä. Järjestelmän vikataajuus noudattaa usein ns. kylpyammekäyrää, jonka mukaisesti järjestelmän vikataajuus pienenee ensin ajan funktiona käyttöönottohetkestä ja saavuttaa vakioarvon. Järjestelmän ikääntyessä vikataajuus alkaa uudelleen kasvaa. Vikataajuusfunktio kuvaa vioittumistodennäköisyyttä aikayksikköä kohden. Populaatiotasolla vikataajuus tietyllä aikavälillä on vioittuneiden laitteiden määrän suhde niiden laitteiden määrään, jotka olivat kunnossa alkuhetkellä. (Lyytikäinen 1987)

## **Fault Vika**

- kohteen tila, jolloin kohde on kykenemätön suorittamaan vaaditun toiminnon. Viaksi ei kuitenkaan lasketa tilaa, jolloin kohde ei voi suorittaa toimintoa ehkäisevän kunnossapidon tai muun ennalta suunnitellun toiminnon aikana tai välttämättömien ulkoisten edellytysten puutteen takia. (IEC 60050(192))

## **Fleet management - Laivueen hallinta, asennetun laitekannan hallinta**

- Perinteisesti ”laivue” on tarkoittanut yksittäisten koneiden tai laitteiden esimerkiksi kuorma-autojen muodostamaa kalustoa.
- Asennetun laitekannan hallinta-merkityksessä lähtökohtana on se, että yksittäisillä kohteilla on samankaltaisia ominaisuuksia, ja ”laitekantaa” on hyödyllistä tarkastella yhtenä kokonaisuutena. Ryhmä voi koostua samanlaisista kohteista, samankaltaisista tai heterogeenisista kohteista. (Al-Dahidi ym., 2016)

## **Improvement Parantaminen**

- yhdistelmä kaikista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joilla on tarkoitus parantaa kohteen toimintavarmuutta ja/tai kunnossapidettävyyttä ja/tai turvallisuutta ilman, että alkuperäinen toiminto muuttuu. Parantamisen avulla voidaan myös estää väärinkäyttö ja välttää vikaantumista. (EN 13306)

## **Item Kohde**

- tarkastelun kohteena oleva aihe tai subjekti. ‘Kohde’ voi olla esimerkiksi tuotantolinja, sen osa, järjestelmä, koneryhmä, laite tai yksittäinen komponentti. (IEC 60050(192)).
- osa, komponentti, laite, alijärjestelmä, toiminnallinen yksikkö, laitteisto tai järjestelmä, joka voidaan käsittää erillisenä, ja jota voidaan tarkastella erillisenä. Joukko kohteita tai niiden osajoukko voi kokonaisuutena muodostaa kohteen. Kohde voi muodostua laitteistosta, ohjelmistosta tai molemmista. Ohjelmisto koostuu ohjelmista, toimintasarjoista, säännöistä, dokumentaatiosta ja tietojenkäsittelyjärjestelmän datasta. (EN13306)

## **Key Performance Indicator (KPI) Avaintehokkuusmittari, Avaintunnusluku**

- KPI-mittarit ovat yrityksen tärkeimpiä suorituskkyä kuvaavia mittareita ja niiden yhteistulos osoittaa koko organisaation suorituskyyyn. KPI-mittarit osoittavat, kuinka organisaatio onnistuu suorituskyyyn kannalta kriittisissä tehtävissään. (Parmenter 2015, s.4)

## **Level of service Palvelutaso**

- sellaiset muuttujat tai niiden yhdistelmä, jotka kuvaavat organisaation vaikutusta yhteiskunnan, politiikkaan, ympäristöön tai talouteen. Muuttujat voivat olla esimerkiksi turvallisuus, asiakastyytyväisyys, laatu, määrä, kapasiteetti, luotettavuus, reagointinopeus, ympäristöystävällisyys, kustannukset ja saatavuus. (SFS-ISO-55000)

## **MaintenanceKunnossapito**

- kaikki kohteen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikkeenjohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon. Tekniset kunnossapidon toimenpiteet sisältävät kohteen tilan havainnoinnin ja analysoinnin (esimerkiksi tarkastus, tarkkailu, testaus, diagnostiikka ja prognostiikka) ja kunnossapidon aktiiviset toimenpiteet (esimerkiksi korjauksen ja kunnostamisen). (SFS-EN 13306; IEC 60050(192))

## **Maintainability Kunnossapidettävyyys**

- kohteen kyky pysyä toimintakunnossa tai olla palautettavissa toimintakuntoon, kun kunnossapito suoritetaan määräoloissa käyttäen määrämenetelmiä, -välineitä ja -henkilöstöä (IEC 60050(192))
- kohteen kyky olla pidettävissä tilassa tai palautettavissa tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon määritellyissä käyttöolosuhteissa, jos kunnossapito suoritetaan

määritellyissä olosuhteissa käyttäen vaadittuja menetelmiä ja resursseja. Kunnossapidettävyyden voidaan esittää lukuarvona tarpeenmukaisten mittausten ja tilatietojen avulla. (SFS-EN 13306)

- kunnossapidettävyyden mittareita ovat mm. korjausaika (MRT), toipumisaika (MTTR) ja keskimääräiset kunnossapitotunnit sekä yleisti käytetyt mittarit, kuten vian havaitsemisaika/-viive, henkilöiden lukumäärä/toimenpide ja työtunnit/käyttötunnit. (IEC 60050(192))

#### Maintenance support performance Kunnossapitovarmuus

- kunnossapito-organisaation kyky tarvittaessa järjestää kunnossapitovälineet, -tarvikkeet, henkilöstö ja muut tarvittavat resurssit kohteen kunnossapitoa varten (IEC 60050(192))
- Kunnossapito-organisaation kyky asettaa käytettäväksi oikeita tukitoimenpiteitä tarvitta-vaan paikkaan, jotta vaadittava kunnossapitotoimenpide voidaan suorittaa vaadittaessa (SFS-EN 13306)

#### Mean Downtime (MDT) Toimintakelvottomuusaika

- toimintakelvottomuusaajan odotusarvo, jolloin kohde ei kykene suorittamaan vaadittua toimintaa (IEC 60050(192))
- onko kyseessä odotusarvo vai keskiarvo riippuu näkökulmasta: ex ante vai ex post.

#### Mean Operating Time Between Failures (MTBF, MOTBF)<sup>12</sup> Keskimääräinen toiminta-aika vikaantumisvälillä

- 1) odotusarvo toiminta-ajan kestolle vikaantumisvälillä.
- 2) MTBF on korjattavien järjestelmien tai laitteiden vikaantumisten välisten aikojen keskiarvo
- 3) Ei-korjattaville kohteille määritellään Mean operating Time To Failure (MTTF) (IEC 60050(192))
- 4) Kumotussa standardissa (SFS-IEC 50(191) ja oppikirjoissa yleisesti käytetty termi **Mean Time Between Failures (MTBF)** on poistettu
- 5) **Mean operating Time Between Failures (MTBF)** korvaa vanhan MTBF-määritelmän (SFS-IEC 50(191)) siten, että olennainen sisältö ja lyhyenne ovat säilyneet.
- 6) Meantime between failures (EN 15341 (2019))

$$MTBF (hours) = \frac{Total\ operating\ time}{Number\ of\ failures}$$

- 7) keskimääräinen vikaantumisväli vikaantumisien välisten aikojen keskiarvo. Toimintavarmuuskäsitteistössä keskimääräinen vikaantumisväli on määritelty vikaantumisvälin matemaattiseksi odotusarvoksi. (EN 13306)

#### Mean Repair Time (MRT) Keskimääräinen korjausaika

- 1) korjausajan odotusarvo (IEC 60050(192))
- 2) Mean repair time (EN 15341 (2019))

$$MRT(hours) = \frac{Total\ time\ to\ repair}{Number\ of\ failures}$$

#### Mean operating Time To Failure (MTTF)<sup>1</sup> Keskimääräinen toiminta-aika vikaantumiseen

- odotusarvo keskimääräiselle toiminta-ajalle vikaantumisvälillä (IEC 60050(192))

---

<sup>12</sup> Luotettavuustekniikan käsitteitä SFS-IEC 50(191) sisältää myös suomenkielisen sanaston. Uudemmassa kansainvälisessä terminologiastandardissa IEC 60050(192) joitakin käsitteitä ja määritelmiä on tarkennettu. Tähän standardiin ei ole saatavilla suomenkielistä sanastoa.

- kumotussa standardissa (SFS-IEC 50(191)) ja oppikirjoissa yleisesti **Mean Time To Failure (MTTF)** tarkoittaa **Keskimääräistä vikaantumisaikaa**
- **Mean operating Time To Failure (MTTF)** korvaa vanhan MTTF-määritelmän (SFS-IEC 50(191)) siten, että olennainen sisältö ja lyhyenne ovat säilyneet.

#### Mean Time To Restoration (MTTR) Keskimääräinen toipumisaika

- ajanjakso, jolloin kohde on toimintakelvoton vikaantumisen vuoksi. Toipumisaikaan lasketaan aktiivisen korjausajan lisäksi myös vian havaitsemisviive, hallinnolliset, logistiset ja tekniset viiveet (IEC 60050(192))
- Keskimääräinen toipumisaika (EN 15341 (2019))

$$MTTR \text{ (hours)} = \frac{\text{Total time to restoration}}{\text{Number of failures}}$$

#### Mean Uptime (MUT) Keskimääräinen toimintakelpoisuusaika

- toimintakelpoisuusaajan odotusarvo (IEC 60050(192))
- toimintakelpoisuusaika on yleensä pidempi kuin tuotantoaika, koska kohde voi olla toimintakelpoinen, mutta sen toimintaa ei tarvita ts. tuotantoa ei synny
- Kunnossapidon tarkasteluissa MUT tarkoittaa myös keskiarvoa

#### Modernization Modernisointi

- kohteen muuttaminen tai parantaminen huomioiden teknologiset edut, ja pyrkien täyttämään uudet tai muuttuneet vaatimukset (EN 13306)

#### Modification Muuttaminen

- yhdistelmä kaikista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joilla muutetaan yhtä tai useampaa kohteen toimintoa. Muuttaminen ei ole kunnossapidollinen toiminto, vaan sillä muutetaan kohteen vaadittu toiminta uudeksi vaadituksi toiminnoksi. Muutokset voivat vaikuttaa käyttövarmuusominaisuuksiin. Muuttaminen saattaa vaatia kunnossapito-organisaation osallisuutta. Tilannetta, jossa alkuperäinen kohde vaihdetaan uuteen versioon muuttamatta toimintoa tai parantamatta kohteen käyttövarmuutta, kutsutaan termillä ”korvaaminen”, eikä se ole muuttamista. (EN 13306)

#### Liability cost Vastuukustannukset

- kustannukset, jotka aiheutuvat tai voivat aiheutua siitä, että tuote ei vastaa sille asetettuja vaatimuksia (*non-compliance*). Tuotteen vikaantuminen voi aiheuttaa esimerkiksi henkilö- tai ympäristövahinkoja. Vastuukustannuksia voidaan tarvittaessa arvioida riskianalyysin avulla. (IEC 60300-3-3)

#### Life cycle Elinjakso, Elinkaari

- 1) elinjakso alkaa, kun kohde määritellään ja päättyy kun se romutetaan tai siirtyy toiseen käyttöön. Elinjakso koostuu tunnistettavista elinjakson vaiheista (IEC 60300-1, ISO/IEC/IEEE 15288 ja DIN ISO 15226)
- 2) elinjakso, omaisuuden hallintaan liittyvät vaiheet (SFS-ISO 55000)
- 3) elinkaari kattaa tuotteen vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tuotteesta syntyvien jätteiden loppukäsittelyyn asti<sup>13</sup>
- 4) (kaupallinen) elinkaari, jolloin tuote on markkinoilla

#### Life Cycle Assessment, (LCA) Elinkaarivaikutusten arviointi

- tuotteen, palvelun tai toiminnan elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten määrittäminen ja arviointi (ISO 14040 ja ISO 14044)

---

<sup>13</sup> Tieteen termipankki <http://tieteentermipankki.fi/wiki/Ymp%C3%A4rist%C3%B6tieteet:elinkaari>

### Life Cycle Cost (LCC) Elinjaksokustannus, Elinjaksokustannukset

- kohteen koko elinjakson aikana aiheutuneiden kustannusten kokonaismäärä. Kohteen käyttäjälle tai omistajalle elinjakson kokonaiskustannus voi koostua vai kustannuksista, jotka aiheutuvat hankinnasta, käytöstä, kunnossapidosta ja käytöstä poistosta. (SFS-EN 13306)

### Life Cycle Costing (LCC) Elinjaksokustannusten arviointi

- prosessi, jonka tuloksena muodostuu laskelma elinjakson tai valitun elinjakson vaiheen tai sen osan aikana syntyvistä välittömistä ja välillisistä kustannuksista (IEC 60300-3-3)

### Life cycle stages Elinjakson vaiheet

- elinjakson vaiheet; generisen mallin mukaisia elinjakson vaiheita ovat konseptointi, kehittäminen, toteutus, käyttö, parantaminen ja käytöstä poisto (IEC 60300-1)
- ISO 55000 ei erittele eri vaiheita samalla tarkkuudella, koska se ei rajoitu pelkästään fyysiseen omaisuuteen
- elinjakson vaiheet voidaan määrittää myös esimerkiksi ohjelmistolle, ja ohjelmistotuotteen laadulle (SFS-ISO/IEC 25010)
- elinjaksonäkökulma on huomioitu ja mallinnettu myös teollisen internetin standardeissa, kuten esimerkiksi valmistavan teollisuuden referenssiarkkitehtuurimallissa RAMI 4.0 (*German Reference Architecture Model Industry 4.0*) (Grangel-González ym., 2016)

### Obsolescence (Kunnossapidollinen) vanhentuminen

- kohteen kunnossapidon estyminen johtuen tarvittavien resurssien heikosta saatavuudesta hyväksyttävien teknisin ja taloudellisin ehdoin. Tarvittavia resursseja voivat olla esimerkiksi osat tai komponentit, joita tarvitaan kohteen palauttamiseen toimintakelpoiseksi, työkalut, dokumentit, tiedot ja taidot. Resurssien saatavuuspuutteen syinä voi olla esimerkiksi tekninen kehitys, markkinatilanne, toimittajan poistuminen markkinoilta tai määräykset ja säädökset. (SFS-EN 13306)

### Operating conditions Käyttöolosuhteet

- fyysiset kuormat ja ympäristöolosuhteet, jotka kohdistuvat kohteeseen määriteltynä ajanjaksona. Käyttöolosuhteet voivat vaihdella kohteen elinjakson aikana.

### Operating constraints Käyttörajoitteet

- kohteen ominaisuudet, jotka rajoittavat kohteen käyttöä ja voivat määritellä vaatimukset kunnossapitotoimenpiteille. Nämä ominaisuudet ovat tulosta laitteen suunnittelusta, rakenteesta ja valmistuksesta.

### Operating expenditure (OPEX) Käyttö- ja kunnossapitokustannukset

- käytön ja kunnossapidon kustannukset mukaan lukien näihin toimintoihin kiinteästi liittyvät kulut kuten logistiikka ja varaosat (ISO 15663)

### Operational mode Käyttötapa

- konfiguraatio, jossa kohdetta operoidaan ja hyödynnetään määriteltynä ajanjaksona käyttöyksiköinä määriteltynä (tunnit, kuormat, käynnistysten/pysäytysten lukumäärä, hetkellisten tapahtumien lukumäärä jne.). Käyttötapa määrittää käytön taajuuden, kuorman, jatkuvuuden ja toiminnan tason. Käyttötapa voi poiketa kohteen määritellystä alkuperäisestä spesifikaatiosta.

### Operational availability due to maintenance (%) Kunnossapidollinen käytettävyys

- Kunnossapidollinen käytettävyys (EN 15341)

$$\text{Operational availability due to maintenance} = \frac{\text{Total operating time}}{\text{Total operating time} + \text{Downtime}}$$

- **Total Operating Time** ajanjakso, jolloin järjestelmä toimii suunnitellusti



- **Down Time** mahdollinen toiminta-aika, joka menetetään vioista ja ennakoivan kunnossapidon toimista johtuen.

#### **Opportunity cost Vaihtoehtokustannukset**

- Se, mitä jokin panos ansaitsisi vaihtoehtoisessa käytössään. Vaihtoehto, josta täytyy luopua, kun jotain tuotetaan tai hankitaan. (IEC 60300-3-3)

#### **Ownership cost Omistamisen kustannukset**

- omistamisen kustannukset sisältävät kaikki kustannukset, jotka syntyvät kohteen käytöstä, kunnossapidosta ja realisoitumatta jääneistä riskeistä tuotteen elinjakson loppuun asti (IEC 60300-3-3)

#### **Product Data Management (PDM) Tuotetiedon hallinta**

- viitataan tyypillisimmin yrityksen tuotteisiin liittyvän tiedon hallintaan tarkoitettuihin ja keskitettyihin ohjelmistokonsepteihin. Tyypillisesti PDM-konseptit sisältävät pääasiassa tuotteen suunnitteluvaiheessa syntynyttä tietoa.

#### **Product Life Cycle Management (PLM) Tuotteen elikaaritiedon hallinta**

- organisaation tai yrityksen konsepti, järjestelmät ja toimintatavat tuotteen elinkaaren ja elinkaaritiedon hallintaan

#### **RAMS RAMS-tekijät**

- RAMS Viittaa termeihin Reliability (toimintavarmuus), Availability (käyttövarmuus), Maintainability (kunnossapidettavuus) ja Safety (turvallisuus) Rautatiealan standardi (CENELEC - EN 50126-1) määrittelee järjestelmän koko elinjakson kattavan RAMS-hallinnan keskeiset prosessit ja tehtävät sekä systemaattisen prosessin, joka on räätälöity vissä sekä tarjoaa menetelmiä keskenään ristiriitaisten vaatimusten hallintaan.

#### **Recoverability Palautettavuus, Toipumisvalmius**

- 1) kyky palauttaa itsenäisesti kohteen toimintaan vaikuttava tieto ja siten järjestelmän vaadittu toiminta ilman korjaavaa kunnossapitoa (IEC 60050(192))
- 2) toipumisvalmius taso, jolla tuote tai järjestelmä voi keskeytyksen tai vikaantumisen sattuessa palauttaa muutettavana olleen tietosisällön ja järjestelmän toiminnan haluttuun tilaan HUOM. Vikaantumisen jälkeen tietokonepohjainen järjestelmä voi olla poissa käytöstä jonkin aikaa. Toipumisvalmius määrittää tämän ajan. (SFS-ISO/IEC 25010)

#### **Reliability Toimintatodennäköisyys**

- Toimintatodennäköisyys  $R(t_1, t_2)$  toimintavarmuuden mittari (IEC 60050(192))

#### **Reliability (performance) Toimintavarmuus**

- kohteen kyky suorittaa vaadittua toimintoa vikaantumatta vaaditun ajan määritellyissä olosuhteissa (IEC 60050(192))
- Toimintavarmuuden mittareita ovat toimintatodennäköisyyden lisäksi esim. vikaantuvuus, vikaantumisaika (MTTF) ja toiminta-aika vikaantumisvälillä (MTBF) sekä yleisti käytetyt mittarit, kuten vikataajuus ja vikojen määrä aikajaksolla. (IEC 60050(192))

#### **Required function Vaadittu toiminto**

- on toiminto tai toiminnot, joita pidetään välttämättömänä kohteen käytön kannalta. Huomioitavaa on, että vaadittu toiminto voi olla määritelty hyvin tarkasti tai yleisen käytännön tai tavan mukainen (*The required function may be stated or implied*). Vaadittu toiminto kattaa odotusarvoisesti myös sen, että kohde ei saa suorittaa tiettyjä toimintoja. Myös käyttäjälle näkymättömät kohteen olennaiset toiminnot voivat olla vaadittuja toimintoja (IEC 60050(192))
- kohteen toiminto, toimintojen yhdistelmä, tai toiminnallinen kokonaisuus, jotka ovat tarpeellisia vaatimusten täyttämiseksi. Vaaditun tehtävän suorittamiseen voi myös sisältyä tuotanto-omaisuuden arvon säilyttäminen (EN13306)

- esimerkiksi pumpun vaaditut toiminnot voivat olla: nesteen pumppaaminen, nesteen sekoittaminen, nesteen pitäminen pumpun sisällä ja ulkopuolisten väliaineiden, kuten pölysiemien pitäminen pumpun ulkopuolella.
- monimutkaisella kohteella voi olla lukuisia vaadittuja toimintoja, joista usein vain osa tunnistetaan. Rausand & Øien (1996) ovat esittäneet toimintojen yleisen luokituksen, jonka tarkoituksena on helpottaa vaaditun toiminnon tunnistamista.

#### **Requirement      Vaatimus**

- tarve tai odotus, joka on ilmaistu, yleisesti tiedossa oleva tai pakollinen. Yleisesti tiedossa oleva tarkoittaa, että se on organisaation ja sidosryhmien tapa tai yleinen käytäntö. Tarve tai odotus voidaan ilmaista yksilöitynä vaatimuksena esimerkiksi dokumentoidussa tiedossa. (SFS-ISO 55000)

#### **Risk      Riski**

- 1) epävarmuuden vaikutus tavoitteisiin (SFS ISO 31000)
- 2) Vaikutus on poikkeama odotetusta, niin myönteisessä kuin kielteisessäkin mielessä. Tavoitteet voivat liittyä esimerkiksi talouteen, terveyteen ja turvallisuuteen tai ympäristöön, ja ne voivat olla esimerkiksi strategian määrittelyä, projektia, tuotetta, prosessia tai koko organisaatiota koskevia. Riskiä kuvataan usein viittaamalla mahdollisiin tapahtumiin ja seurauksiin tai niiden yhdistelmään. Riski ilmaistaan usein tapahtuman seurausten ja toteutumisen todennäköisyyden yhdistelmänä. Epävarmuus on tila, johon liittyy osittainen tai täydellinen tapahtumaa, sen seurauksia tai todennäköisyyttä koskevan käsityksen tai tiedon puute (SFS-ISO 55000)

#### **Stakeholder      Sidosryhmä**

- henkilö tai organisaatio, joka voi vaikuttaa johonkin päätökseen tai toimintaan tai joka on tai kokee olevansa päätöksen tai toiminnan vaikutuksen kohteena (SFS-ISO 55000)

#### **Strategic asset management plan (SAMP)- Strateginen omaisuuden hallintasuunnitelma**

- dokumentoitu tieto, joka määrittelee, kuinka organisaation tavoitteet muutetaan omaisuudenhallinnan tavoitteiksi, kuinka omaisuudenhallintasuunnitelmat laaditaan ja kuinka omaisuudenhallintajärjestelmä tukee omaisuuden hallinnan tavoitteiden saavuttamista (SFS-ISO 55000)

#### **System      Järjestelmä**

- useasta toisiinsa vaikuttavista tai liittyvistä osista muodostuva kokonaisuus, joka yhdessä täyttää annetun vaatimuksen (IEC 60050(192))

#### **Total Cost of Ownership (TCO) Omistamisesta aiheutuvat kokonaiskustannukset**

- omistamisen kustannukset sisältävät kaikki kustannukset, jotka syntyvät kohteen käytöstä, kunnossapidosta ja realisoitumatta jääneistä riskeistä tuotteen elinjakson loppuun asti (Ellram & Siferd (1993))

#### **Unavailability      Epäkäytettävyys**

- koska käytettävyys (A) on todennäköisyys, voidaan epäkäytettävyys (U) esittää yksinkertaisesti käytettävyyden komplementtina (IEC 60050(192))
- Epäkäytettävyys

$$U = 1 - A$$

- hetkellisestä epäkäytettävyydestä käytetään symbolia  $U(t)$

#### **Usability      Käytettävyys**

- tavat, jolla tietyt käyttäjät voivat käyttää tuotetta ja järjestelmää täyttääkseen määritellyt päämäärät vaikuttavasti, tehokkaasti ja tyydyttävästi tietyllä käyttöalueella. Käytettävyys voidaan määritellä tai mitata tuotteen laatuominaisuutena laatupiirteidensä mukaan tai suoraan käytönaikaisen laadun alaisilla mittareilla (SFS-ISO/IEC 25010)

#### **Useful life Käyttöikä, hyödyllinen käyttöikä**

- ajanjakso, joka alkaa tietyllä ajanhetkellä, ja päättyy kun vikataajuus nousee ei-hyväksyttävälle tasolle tai kun kohde osoittautuu vikaannuttuaan korjauskelvottomaksi (IEC 60050(192))
- ajanjakso, joka alkaa ensimmäisestä käyttöhetkestä ja päättyy hetkeen, jolloin raja-arvo on saavutettu. Toiminnallisen raja-arvon määrytymiseen voivat vaikuttaa vikaantumistaajuus, kunnossapidettävyyssvaatimukset, fyysinen kunto, taloudellisuus, ikä, vanhentuneisuus, käyttäjän muuttuneet vaatimukset, tai muu oleellinen tekijä. (SFS-EN 13306)

#### **Whole Life Cost (WLC) Elinjakson kokonaiskustannukset**

- kohteen koko elinjakson aikana aiheutuneiden kustannusten kokonaismäärä (SFS-EN 13306)

# LÄHTEET

- Al-Dahidi, S., Di Maio, F., Baraldi, P., and Zio, E. (2016) Remaining useful life estimation in heterogeneous fleets working under variable operating conditions. *Reliability Engineering and System Safety*, 156, pp. 109-124.
- CENELEC - EN 50126-1 (2017) Railway Applications - The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1: Generic RAMS Process, 106s.
- DIN ISO 15226 (2017) Technical product documentation - Life cycle model and allocation of documents, 19s.
- Grangel-González, I., Halilaj, L., Auer, S., Lohmann, S., Lange, C. and Collarana, D. (2016) An RDF-based approach for implementing industry 4.0 components with Administration Shells, 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Berlin, 2016, pp. 1-8, doi: 10.1109/ETFA.2016.7733503
- IEC 60050(192) ed.1.0 (2015) International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 192: Dependability.
- IEC 60300-3-3 (2015): Dependability management - Part 3-3 Application Guide - Life cycle costing
- IEC 60300-1 (2014) Dependability management – Part 1: Guidance for management and application.
- ISO 14040 (2006) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet.
- ISO 14044 (2006) Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja
- ISO 15663 (2020) Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Life cycle costing.
- ISO/IEC/IEEE 15288 (2015) Systems and software engineering – System life cycle processes.
- Ellram, L. M. & Siferd S.P. (1993) Purchasing: the cornerstone of the total cost of ownership concept. *Journal of Business Logistics*. Vol. 14 No 1, p 163-184.
- EN 15341 (2019) Maintenance - Maintenance Key Performance Indicators. CEN TC319.
- EN 16646 (2014) Maintenance - Maintenance within physical asset management. CEN TC 319.
- FprEN 17485 (2020) Maintenance — Maintenance within physical asset management. — Framework for improving the value of the physical assets through their whole life cycle. CEN TC 319
- Lyytikäinen, A. 1996. Käyttövarmuuden käsitteet ja määritelmät. INSKO-seminaarissa: Käyttövarmuuden kehittäminen, Vantaa 17.-18.9.1996. 8 s.
- Parmenter, D. 2015. Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPIs. 3. painos. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Rausand M., Øien K. 1996. “The basic concepts of failure analysis”. *Reliability Engineering and Systems Safety*- Vol 53, pp. 73-83.
- SFS-IEC 50(191) (1996) Sähkötekniillinen sanasto. Luotettavuus ja palvelun laatu. *Electrotechnical Vocabulary. Dependability and quality of service*. Suomen standardisoimisliitto SFS r.y. Helsinki. 143s.
- SFS-EN 13306 (2017) Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia.
- SFS ISO 31000 (2018) Riskienhallinta. Ohjeet.
- SFS-ISO 55000 (2014) Omaisuudenhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit.
- SFS-ISO/IEC 25010 (2019) Tietotekniikka. Järjestelmäkehitys ja ohjelmistotuotanto. Järjestelmien ja ohjelmistojen laatuvaatimukset ja niiden laadun arviointi (SQuaRE). Tietojärjestelmien ja ohjelmistojen laatumallit. Suomen standardisoimisliitto SFS r.y. Helsinki. 80s.

# KIRJOITTAJAT

**Toni Ahonen**, Tiiminvetäjä, DI, [toni.ahonen@vtt.fi](mailto:toni.ahonen@vtt.fi), <https://www.linkedin.com/in/toni-ahonen-vtt/>, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Toni Ahonen on toiminut tutkijana ja projektipäällikkönä useissa tuotanto-omaisuuden hallintaan, teolliseen palveluliiketoimintaan sekä luotettavuuden hallintaan liittyvissä tutkimus- ja toimeksiantoprojekteissa. Hänellä on laaja kokemus eri teollisuudenalojen vaatimuksista tuotanto-omaisuuden hallinnan ja käyttövarmuuden kehittämisen osalta. Tällä hetkellä Ahonen toimii Data-based Asset Management & Business Models -tiimin vetäjänä ja tutkimuksen painopisteinä ovat erityisesti digitalisaation hyötyjen realisoiminen kunnossapidossa sekä datan hyödyntäminen yritysten liiketoiminnassa.

**Jyri Hanski**, tutkija, TkT (tuotantotalous), [jiyri.hanski@vtt.fi](mailto:jiyri.hanski@vtt.fi), @twitter, @linkedin, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Jyri Hanskilla on laaja kokemus kansallisista ja eurooppalaisista tutkimusprojekteista liittyen teollisuuden digitaaliseen murrokseen, digitaaliseen palvelutarjoamaan, ilmastomuutokseen sopeutumiseen sekä kestävään ja kiertotalouden huomioivaan omaisuuden hallintaan. Hänen tutkimuksensa keskittyy pääomavaltaiseen teollisuuteen ja infrastruktuureihin. Tutkimuksen keskiössä on organisaatioiden strategian ja päätöksenteon tukeminen eri organisaatiotasoilla sekä organisaatioiden tukeminen siirtymässä kohti kestävä kiertotaloutta. Omaisuuden hallinnalla ja elinjakson hallinnalla on keskeinen rooli tutkimuksessa. Keskeisinä lähestymistapoina ovat tuotteiden, palvelujen ja järjestelmien arviointi ja kehittäminen käyttäen esimerkiksi elinjakso-kustannusten ja kiertotalouden arviointimenetelmiä, mallinnusta sekä kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä.

**Eetu Heikkilä**, tutkija, DI (konetekniikka), [eeuu.heikkila@vtt.fi](mailto:eeuu.heikkila@vtt.fi), @linkedin, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Eetu Heikkilän tutkimus keskittyy kone- ja automaatiojärjestelmien turvallisuuteen ja käyttövarmuuteen. Tutkimuksen painopiste on monimutkaisten järjestelmien suunnittelun tukemisessa erityisesti uusien teknologioiden elinkaaren alkuvaiheessa. Keskeisiä sisältöjä ovat järjestelmänalyysit ja -mallinnus sekä analyysimenetelmien tutkimus ja kehitys. Sovelluskohteisiin kuuluvat autonomiset työkonet sekä merenkulun, liikenteen ja logistiikan järjestelmät.

**Lotta Hepo-oja**, tutkija, DI (ympäristötekniikka), [lootta.hepo-oja@vtt.fi](mailto:lootta.hepo-oja@vtt.fi), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Lotta Hepo-ojalla on kokemusta kansallisista ja eurooppalaisista tutkimusprojekteista liittyen kestävä kehityksen arviointiin. Hänen tutkimuksensa keskittyy elinkaariarviointiin, ja sen keskiössä on arvon luominen kestävä kehityksen avulla sekä organisaatioiden tukeminen kestävä kehityksen mukaisessa toiminnassa. Keskeistä tutkimuksessa on tuotteiden, palveluiden ja järjestelmien arviointi ja kehittäminen käyttäen elinkaariarvioinnin menetelmiä.

**Kari Komonen**, FT, Dosentti (emeritus), [kari.j.komonen@saunalahti.fi](mailto:kari.j.komonen@saunalahti.fi), eläkkeellä, on tehnyt pitkän uran teollisuudessa (Nokia ja Kone Oyj), konsulttina sekä viimeksi johtavana tutkijana VTT:llä. Hänen tutkimus- ja kehittämiskohteitaan VTT:llä olivat tuotanto-omaisuuden hallinta, kunnossapidon johtaminen ja käyttövarmuuden hallinta. Kari Komonen on osallistunut yli 15 kotimaisen ja kansainvälisen standardin valmisteluun omaisuudenhallinnan ja kunnossapidon alueella, joista 5 standardissa puheenjohtajana. Kari toimi Kunnossapitoyhdistys Promaintin hallituksessa 15 vuoden ajan ja on toiminut 20 vuotta EFNMS:ssä (European Federation For National Maintenance Societies) ja sen toimikunnissa. Kari on osallistunut kirjoittajana 8 alan kirjan laatimiseen ja lukuisien artikkeleiden kirjoittamiseen. Nykyisin hän on mukana Promaintin toimikunnissa ja projekteissa, toimii luennoitsijana mm. Tampereen yliopiston sekä Taitotalon kursseilla, osallistuu yhä

alan standardien valmisteluun, Vuonna 2015 ISEAM (International Society of Engineering Asset Management) myönsi Kari Komoselle elämätyöpalkinnon sekä nimitti hänet yhteisön kunniajäseneksi.

**Helena Kortelainen**, johtava tutkija, TkL, [helena.kortelainen@vtt.fi](mailto:helena.kortelainen@vtt.fi), @HelenaKyl, [www.linkedin.com/in/helenakortelainen/](https://www.linkedin.com/in/helenakortelainen/), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Helena Kortelaisen keskeinen kiinnostuksen kohde on tiedon hyödyntäminen päätöksenteon tukena ja seuraavan sukupolven elinjakson ja tuotanto-omaisuuden hallinnan menetelmien kehittäminen. Tutkimushankkeissa keskeisiä teemoja ovat digitalisaation hyödyntäminen tuottavuuden parantamisen keinona, tietojen integrointiin perustuva kunnossapidon prosessien ja toiminnan kehittäminen sekä uusien teknologioiden käyttöönoton kustannusten ja hyötyjen tarkastelu. Taustalla on 25 vuoden kokemus VTT:llä käyttövarmuuden ja riskien hallinnan sekä tuotanto-omaisuuden hallinnan tutkimuksessa, sekä usean vuoden kokemus tietopohjaisen tuotanto-omaisuuden ja elinjakson hallinnan kurssien luennoitsijana Tampereen yliopistolla. Lisäksi taustalla on myös noin kuuden vuoden kokemus paperi- ja selluteollisuuden laitevalmistajan, Kajaani Elektroniikan ja Kajaani Automation GmbH:n, kehitystehtävistä sekä Suomessa että Saksassa. Helena on mukana myös Kunnossapitoyhdistys Promaint ry:n toiminnassa ”Johtaminen ja tutkimus”-toimikunnan ja ISEAM (*International Society of Engineering Asset Management*)-yhdistyksen jäsen. Helenan julkaisuluettelossa on yli 110 julkaisua, joista noin 60 on tieteellisiä artikkeleja tai vertaisarvioituja konferenssijulkaisuja.

**Jouko Laitinen**, yliopisto-opettaja, DI, [jouko.laitinen@tuni.fi](mailto:jouko.laitinen@tuni.fi), Tampereen yliopisto TAU. Jouko Laitisella on 30 vuoden kokemus lentokoneiden kunnossapidosta Ilmavoimissa. Jouko Laitisen tutkimus keskittyy luotettavuuden ja käyttövarmuuden hallintaan niin lentokone- kuin teollisuusympäristöissä. Jouko Laitinen on TAU:lla Elinkaarenhallinnan pääaineen vastuupettaja. Lisäksi hän toimii opettajana Puolustusvoimille ja puolustusteollisuudelle suunnatuissa luotettavuuden ja elinkaarenhallinnan opintokokonaisuuksissa.

**Anu K. Nousiainen**, Design Lead, MBA (Service Innovation & Design), [anu.nousiainen@vtt.fi](mailto:anu.nousiainen@vtt.fi), @twitter, @linkedin, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Anu Nousiaisella on 20 vuoden kokemus liiketoiminnan kehittämisestä kansainvälisellä (Nokia) ja kansallisella (yrittäjä) kentällä yksityisten ja julkisten toimijoiden kanssa. Anulla on useita lähestymistapoja käytössään tulevaisuuskestävän kasvun tekijöiden tunnistamiseen ja niiden realisoimiseen: muotoilu, ennakointi, liiketoiminta ja pedagogiikka. Muotoilijana VTT:llä hän toimii poikkitieteellisesti tutkijoiden ja sidosryhmien kanssa tuoden ihmiskeskeisyyttä ja yhteiskehittämisen välineitä strategisiin projekteihin ja prosesseihin. Anu on keskittynyt VTT:llä erityisesti innovaatioekosysteemien ja muiden transformatiivisten kehitysprojektien suunnitteluun, fasilitointiin ja johtamiseen. Näissä projekteissa muotoutuu uusia ratkaisukonsepteja tiekartalle ja monipuolista vaikuttavuutta tutkimuksen, kokeilujen ja mallinnuksen keinoin.

**Antti Rantala**, tutkija, KTM (tuotantotalous), [antti.rantala@vtt.fi](mailto:antti.rantala@vtt.fi), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Antti Rantalalla on monipuolista kokemusta tutkimushankkeista liittyen digitalisaation tuomiin mahdollisuuksiin eri teollisuusaloilla. Hän työskentelee VTT:llä Data Based Asset Management and Business Models -tiimissä, ja tutkimuksen keskiössä on datan hyödyntäminen päätöksenteon tukena. Hänen tehtäviinsä on kuulunut muun muassa erilaisten investointiratkaisuiden elinkaarikustannusten laskeminen ja vertailu. Muita Rantalan keskeisiä tutkimusteemoja on muun muassa prosessiteollisuuden kunnossapito, tuotekehitys-ekosysteemit sekä uudet liiketoimintamallit.

**Minna Räikkönen**, erikoistutkija, DI, [minna.raikonen@vtt.fi](mailto:minna.raikonen@vtt.fi), @MinnaRaikonen, <https://fi.linkedin.com/in/minnaraikonen>, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Minna Räikkönen toimii VTT:llä erikoistutkijana Industrial Circular Economy -tiimissä. Hänen osaamisalueinaan ovat käyttöomaisuusinvestointien ja investointiportfolioiden hallinta ja arviointi, tuotanto-omaisuuden elinkaarikustannusten mallintaminen ja arviointi, kunnossapitoliketoiminnan riskienhallinta sekä strategisen päätöksenteon menetelmät ja sovellukset ja niiden kehittäminen. Räikkönen on työskennellyt VTT:llä yli 20 vuoden ajan ja on ollut mukana eri rooleissa sekä tutkijana, projektipäällikkönä että projektien valmistelussa lukuisissa kansallisissa ja EU-rahoitteisissa hankkeissa, joissa on kehitetty elinkaarikustannusten laskentaa, kustannus-hyötyanalyysijä sekä kustannusvaikutusten arvioinnin ja omaisuuden hallinnan menetelmiä ja sovellettu näitä menetelmiä sekä yritysten että julkisen sektorin päätöstilanteisiin.

**Teuvo Uusitalo**, erikoistutkija, TkL, [teuvo.uusitalo@vtt.fi](mailto:teuvo.uusitalo@vtt.fi), @TeuvoU, [www.linkedin.com/in/teuvouusitalo](https://www.linkedin.com/in/teuvouusitalo), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Teuvo Uusitalolla on laaja kokemus kansal-

lisistä ja kansainvälisistä tutkimushankkeista liittyen riskienhallintaan, kestävään kehitykseen, kiertotalouteen ja digitalisaatioon. Tutkimuksen keskiössä tällä hetkellä ovat kiertotalouden mukainen suunnittelu sekä datan ja tiedon hyödyntäminen kestävässä kehityksessä liiketoiminnassa. Ennen tuloaan VTT:lle hän työskenteli projektipäällikkönä Euroopan työturvallisuus- ja työterveysvirastossa Bilbaossa, Espanjassa.

**Risto Tiusanen**, vanhempi tutkija, TkT (turvallisuustekniikka), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Tiusasella on yli 30 vuoden kokemus uusien teknologioiden riskitietoisesta kehittämisestä useilla teollisuuden toimialoilla. Hänen tutkimuksensa on keskittynyt tuotannon automatisointiin kappaleteollisuudessa sekä liikkuvien työkonien automatisointiin ja itsenäiseen operointiin. Tutkimuskohteita ovat riskianalyysi- ja riskienarviointiprosessit sekä systemaattiset menetelmät monimutkaisten sosio-tekniisten järjestelmien ja niiden elinkaaren hallinnan kehittämisessä. Hänen erityisasiantuntemuksensa ovat järjestelmätason turvallisuustekniikan periaatteet, kvalitatiiviset riskien tunnistamisen ja riskien analysoinnin menetelmät sekä riskien arviointimenettelyt. Tiusanen on kansainvälisesti tunnustettu asiantuntija liikkuvien työkonien järjestelmäturvallisuuteen ja riskien hallintaan liittyvissä kysymyksissä. Hänellä on monipuolinen kokemus VTT:n projektipäällikkönä ja tutkijana useissa kansallisissa ja kansainvälisissä tutkimushankkeissa sekä teollisuusyritysten suorissa toimeksiannoissa useilla teollisuudenaloilla. Hän on julkaissut yli 20 tieteellistä artikkelia tai julkaisua, noin 30 konferenssijulkaisua ja useita muita julkaisuja.

**Pasi Valkokari**, erikoistutkija, DI, VTT, pasi.valkokari@vtt.fi, @Linkedin, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Pasi Valkokari on erikoistutkija VTT:n Industrial Circular Economy-tiimissä. Hänen laaja työkokemus ja osaaminen on muodostunut tutkimus- ja toimeksiantoprojekteissa, joissa on kehitetty tuotantolinjojen luotettavuutta jatkuvan parantamisen, investointien ja kunnossapidon kehittämisen keinoin. Hänen nykyisiin tutkimuskohteisiin kuuluvat teollisuuden elinkaaren hallinta, teollisten palvelujen kehittäminen ja kiertotaloutta tukevat käyttöomaisuudenhallinnan menetelmät.

**Saija Vatanen**, erikoistutkija, DI (Energia- ja ympäristötekniikka), saija.vatanen@vtt.fi, @linkedin, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Saija Vatasella on laaja kokemus kestävyiden ja ympäristövaikutusten arvioinnista. Vatasen osaaminen liittyy elinkaariarviointiin, hiilijalanjälkeen ja -kädenjälkeen, ympäristövaikutuksista viestimiseen, kiertotalouteen sekä uudelleenvalmistukseen. Hän on toiminut lukuisissa tutkimus- ja asiakashankkeissa projektipäällikkönä sekä asiantuntijana. Vatanen on tehnyt töitä useiden eri teollisuuden alojen kanssa, painottuen valmistavaan teollisuuteen.

**Tero Välisalo**, tutkija, DI (ympäristötekniikka), tero.valisalo@vtt.fi, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Tero Välisalo on työskennellyt VTT:llä yli 20 vuoden ajan kehittäen koneiden ja järjestelmien turvallisuutta ja luotettavuutta useilla eri aloilla. Käyttöomaisuuden hallinta ja elinjakso-kustannusten arviointi kuuluvat myös hänen osaamisalueisiinsa. Tällä hetkellä hänen tutkimusaiheensa keskittyvät uusien teknologioiden ja energianlähteiden turvallisuuden ja käyttövarmuuden varmistamiseen, mm. vetykäyttöisiin järjestelmiin ja aaltoenergian tuotantoon. Kunnossapidon ja kunnossapidettävyyden kehittäminen ovat tärkeä osa hänen työtään.

# TIETÄMYSPERUSTEINEN ELINJAKSON HALLINTA

**Tietämysperusteinen elinjakson hallinta** - kirja esittelee malleja, menetelmiä ja käytännön esimerkkejä näiden mallien soveltamisesta koneiden, teknisten järjestelmien ja tuotantojärjestelmien elinjakson hallinnan haasteisiin. Kirjan painopiste on teollisissa järjestelmissä, joiden käyttöikä on pitkä ja suorituskyvyn ylläpitäminen ja jatkuva kehittäminen kunnossapidon, investointien ja muiden toimenpiteiden avulla tarpeellista.

Elinjakson hallinta menettelytapoineen auttaa päätöksentekijää optimoimaan suorituskykyvaatimukset ja suorituskyvyn ylläpitämiseen väistämättä liittyvät kustannukset sekä arvioimaan tulevaisuuden epävarmuuteen liittyvää riskiä. Digitalisaation myötä painopiste siirtyy datan keräämisestä tiedon hyödyntämiseen. Tieto ei yksin riitä, vaan keskiöön nousee tietämys - kyky jäsentää ja tulkita tietoa.

Kirjan kohdeyleisöä ovat yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen elinkaaren hallinnan ja tuotanto-omaisuuden hallinnan opiskelijat ja se tukee näiden aihealueiden täydennyskoulutusta. Kirja hyödyttää myös muiden elinkaaren hallinnan kysymyksiä ja tuotanto-omaisuuden haasteita pohtivien asiantuntijoiden työtä ja auttaa toivottavasti uusien ratkaisujen kehittämisessä.